

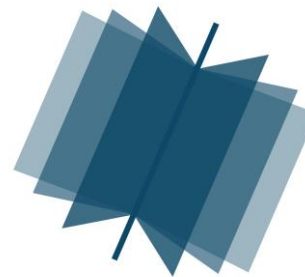
№ 9 (111) ▪ 2021
Часть 1 ▪ Сентябрь

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЖУРНАЛ**

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

ISSN 2227-6017 ONLINE

Екатеринбург
2021



Периодический теоретический и научно-практический журнал.
Выходит 12 раз в год.
Учредитель журнала: Соколова М.В.
Главный редактор: Меньшаков А.И.
Адрес издателя и редакции: 620137, г. Екатеринбург, ул.
Академическая, д. 11, корп. А, оф. 4.
Электронная почта: editors@research-journal.org
Сайт: www.research-journal.org
16+

**№ 9 (111) 2021
Часть 1
Сентябрь**

Дата выхода 17.09.2021
Цена: бесплатно.

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

Номер свидетельства о регистрации в Федеральной Службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: ЭЛ № ФС 77 - 80772.

Члены редколлегии:

Филологические науки:

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

Технические науки:

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

Педагогические науки:

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

Психологические науки:

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

Физико-математические науки:

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

Географические науки:

Умывакин В.М. д-р геогр. наук, к. техн. наук 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, доцент, ведущий научный сотрудник, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва, Россия).

Архитектура:

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

Ветеринарные науки:

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

Медицинские науки:

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

Исторические науки:

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

Культурология:

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

Искусствоведение:

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

Философские науки:

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

Юридические науки:

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

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

Бойков В.М., Старцев С.В., Павлов А.В., Нестеров Е.С. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОЖНИВНЫХ ОСТАТКОВ КУКУРУЗЫ	6
Буланов С.Г. АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОКОМПОНЕНТНОГО СОПОСТАВЛЕНИЯ ЗНАКОВ РЕШЕНИЯ, ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ ПРОИЗВОДНОЙ РЕШЕНИЯ	11
Глушаков В.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДВУМЯ СТАНЦИЯМИ В СЕТИ WI-FI	17
Кудрявцев С.С., Емелин П.В., Емелина Н.К., Кожухова М.М. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ, РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ, В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН	25
Петров Ю.С., Музаев А.К.	33
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ	33
Петров Ю.С., Зорина И.Ю., Музаев А.К. МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЁТА И ОРГАНИЗАЦИИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ (В УСЛОВИЯХ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ)	41
Понкратова А.С., Орлов С.П. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ РОБОТИЗИРОВАННОГО АГРОТЕХНИЧЕСКОГО АВТОМОБИЛЯ	49
Таранов Д.К., Федюк Р.С. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ КАВИТАЦИОННОЙ ЭРОЗИИ	54
Трофимец Е.Н. К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ОПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ В MS EXCEL	60
Цинцадзе О.Е., Архипова Н.А. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФРУКТОВЫХ ВИН	67
Шашихин В.Н., Будник С.В. ПОДАВЛЕНИЕ ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ С АФФИННОЙ СТРУКТУРОЙ	72
Шутиков М.А., Феофанов А.Н., Гришина Т.Г. ВНЕДРЕНИЕ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ПОСЛЕ ОТВЕТСТВЕННОЙ ОПЕРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MES-СИСТЕМЫ КАК СПОСОБ МИНИМИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВА ДЕФЕКТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗДЕЛИЙ	79

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES

Витомскова Е.А., Кузьмин А.М., Жулева В.И. ВОЗБУДИТЕЛИ АНИЗАКИДОЗА И ИХ ЛОКАЛИЗАЦИЯ У МОРСКИХ РЫБ СЕВЕРООХОТОМОРСКИХ ПОПУЛЯЦИЙ	85
Гармашов В.М., Нужная Н.А., Гармашова Л.В. РАЗВИТИЕ АЗОТОБАКТЕР В АГРОЦЕНОЗАХ, НАСЫЩЕННЫХ ГЛИФОСАТСОДЕРЖАЩИМИ ГЕРБИЦИДАМИ	89
Дмитриева Т.О. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СКРЕЩИВАНИЯ ОВЕЦ РОМАНОВСКОЙ ПОРОДЫ И КАТАДИН	94
Комарова О.П., Козенко К.Ю., Земляничина С.В. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ – ОДНО ИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СНИЖЕНИЯ ПЕСТИЦИДНОЙ НАГРУЗКИ НА АГРОЦЕНОЗЫ	98
Полужтков Е.В., Петрова И.А. МОНИТОРИНГ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЁМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ ..	103

НАУКИ О ЗЕМЛЕ / EARTH SCIENCES

Адамович М., Харламова М.Д., Попкова А.В., Гуселинкова А.С., Спирин М.И. ПРАВОВЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕЛЕГАЛЬНЫХ СВАЛОК В РЕСПУБЛИКЕ СЕРБИЯ (НА ПРИМЕРЕ Г. БЕЛГРАД)	108
Гриб Н.Н., Качаев А.В., Редлих Э.Ф. ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ОБРАЗЦАХ КЕРНА, ИЗВЛЕЧЕННОГО ИЗ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД	114
Гриб Н.Н., Гриб Г.В., Колодезников И.И. О КРАТКОСРОЧНОМ ПРОГНОЗЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ПРЕДВЕСТНИКАМ В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ	121
Курбасова Г.С., Рыхлова Л.В. ВЕЙВЛЕТ АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНЕГО СМЕЩЕНИЯ СЕВЕРНОГО ПОЛЮСА ЗЕМЛИ	128
Николаев А.К., Зарипова Н.А., Пшенин В.В. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ, ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ ВЫСОКОВЯЗКУЮ НЕФТЬ	138
Янцер О.В., Скок Н.В. АНТРОПОГЕННЫЕ ЛАНДШАФТЫ ЗАПОВЕДНИКА «ДЕНЕЖКИН КАМЕНЬ»	144

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

Бу К.Т., Юдин Н.В., Фенин А.А. МАСС-СПЕКТРОСКОПИЯ АДДУКТОВ СВОБОДНЫХ РАДИКАЛОВ И ИМИНОКСИЛЬНЫХ РАДИКАЛОВ РЯДА 6-ГИДРОКСИПИРИМИДИН-4(3Н)-ОНОВ.....	150
Мурадов М.М., Рустамова Г.С., Велиева К.С., Назарова М.К., Гатамов М.М., Агаев А.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДА УТИЛИЗАЦИИ АБГАЗНОЙ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ И ХЛОРИСТОГО ВОДОРОДА.....	155
Тимошук И.В., Горелкина А.К., Голубева Н.С., Беляева О.В., Юстратов В.П., Ананьев В.А. ТЕХНОЛОГИЯ РЕГЕНЕРАЦИИ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ ПОСЛЕ АДСОРБЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ КОНТАМИНАНТОВ	158

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ / BIOLOGY

Логвина А.О. ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ КЛЕТОК ФОТОМИКСОТРОФНОЙ КАЛЛУСНОЙ КУЛЬТУРЫ <i>TRIGONELLA FOENUM-GRÆCUM</i> L. ПРИ ДЕЙСТВИИ СЕЛЕНА	163
Петров Д.В., Иванов А.А., Панина Е.В., Пантелева Н.В. ВЛИЯНИЕ ВОДЫ, ОБОГАЩЕННОЙ МОЛЕКУЛЯРНЫМ ВОДОРОДОМ, НА ПОВЕДЕНИЕ САМОК <i>CHINCHILLA LANIGERA</i>	170
Петров Д.В., Иванов А.А., Панина Е.В., Пантелеев С.В. ВЛИЯНИЕ ВОДЫ, ОБОГАЩЕННОЙ МОЛЕКУЛЯРНЫМ ВОДОРОДОМ, НА ПОВЕДЕНИЕ САМЦОВ <i>CHINCHILLA LANIGERA</i>	176
Оковитая К.О., Ракульцева М.А., Суржко О.А. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ ЖИДКИХ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ОТХОДОВ	182
Турмухаметова Н.В., Воробьева И.Г. РАЗНООБРАЗИЕ ДЕНДРО- И ГЕРПЕТОБИОНТОВ В НЕКОТОРЫХ БИОТОПАХ ЛЕСОПАРКА «СОСНОВАЯ РОЩА» ЙОШКАР-ОЛЫ.....	188

ВЕТЕРИНАРНЫЕ НАУКИ / VETERINARY SCIENCE

Куприна Э.А., Крюковская Г.М., Морозов И.А. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НАРКОЗА НА МОРФОЛОГИЮ ЭРИТРОЦИТОВ У СОБАК	192
Нижельская Е.И. РАСПРОСТРАНЕНИЕ АСКАРИОЗА И ЭЗОФАГОСТОМОЗА СВИНЕЙ В УСЛОВИЯХ ФЕРМЕРСКОГО ХОЗЯЙСТВА	197
Сюткина А.С., Домский И.А. ИММУНОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ ЩЕНКОВ КРАСНОЙ ЛИСИЦЫ (<i>VULPES</i> <i>VULPES</i>) ПРИ ВВЕДЕНИИ СУБАЛИНА	201

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.001>

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОЖНИВНЫХ ОСТАТКОВ КУКУРУЗЫ

Обзорная статья

Бойков В.М.¹, Старцев С.В.^{2,*}, Павлов А.В.³, Нестеров Е.С.⁴^{1, 2, 3, 4} Саратовский госагроуниверситет им. Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

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

Аннотация

За последние 20 лет площади возделывания кукурузы выросли на 290%. Производство кукурузы на зерно связано с образованием большого количества биологической массы, которая после уборки урожая остаётся в поле в виде надземной сухой массы растения и подземной мощной корневой системы. Количество растительных остатков на гектаре после уборки кукурузы на зерно достигает 10-15 тонн. Для подготовки такого поля к дальнейшей эксплуатации необходимо подготовить пожнивные остатки кукурузы к процессу деструкции. Рассмотрены технические средства механической обработки пожнивно-корневых остатков кукурузы отечественного и импортного производства с анализом конструктивных особенностей рабочих органов.

Ключевые слова: кукуруза, стерня, измельчитель, барабан, нож.

AN ANALYSIS OF TECHNICAL MEANS FOR GRINDING CORN CROP RESIDUE

Review article

Boykov V.M.¹, Startsev S.V.^{2,*}, Pavlov A.V.³, Nesterov E.S.⁴^{1, 2, 3, 4} Saratov State Agrarian University, Saratov, Russia

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

Abstract

Over the past 20 years, the area of corn cultivation has grown by 290%. The production of corn for grain is associated with the formation of a large amount of biological mass, which after harvesting remains in the field in the form of an aboveground dry mass of the plant and a powerful underground root system. The amount of plant residues per hectare after harvesting corn for grain reaches 10-15 tons. To prepare such a field for further operation, it is necessary to prepare the crop residues of corn for the destruction process. The current study examines technical means of mechanical processing of crop-root residues of corn of domestic and imported production with the analysis of the design features of the working elements.

Keywords: corn, stubble, chopper, cylinder, blade.

Введение

Площади возделывания кукурузы в Российской Федерации с 2001 по 2019г выросли на 290,5% [1]. Лидером по посевам кукурузы является Краснодарский край 509,0 тыс.га (19,6% общей площади), Саратовская область (116,0 тыс. га, 4,5%) занимает 7 место в списке 20-ти регионов по производству этой культуры. Средняя урожайность кукурузы на зерно в России в 2019 году составила 57,5 ц/га [1].

Производство кукурузы на зерно связано с образованием большого количества биологической массы, которая после уборки урожая остаётся в поле в виде надземной сухой массы растения: стебля, листьев стебля, метелки, листьев обертки початка, измельченной одревесневшей части початка, стерни из высокого твердого стержня и подземной массы - мощной мочковатой многоярусной корневой системы. Количество растительных остатков на гектаре после уборки кукурузы на зерно, может достигать 10-15 тонн [2]. Все это с одной стороны мешает проведению последующих работ, но с другой стороны может служить источником обогащения почвы органическим веществом. Остатки кукурузы содержат: до 51% азота, 34% оксида фосфора и 98% оксида калия [3]. Для подготовки такого поля к дальнейшей эксплуатации и получению следующего урожая необходимо правильно подготовить пожнивные остатки кукурузы к процессу деструкции.

Чтобы процесс разложения пожнивных растительных остатков проходил успешно, необходимо обеспечить их взаимодействие с почвенными микроорганизмами – грибами и бактериями [4]. Для этого надо предварительно частично измельчить остатки, нарушив их защитный поверхностный слой, а затем смешать с почвенным слоем. При этом глубина заделки должна быть небольшой (8–10 см. [14]), так как процесс переработки растительных остатков лучше всего происходит в верхнем слое почвы, на глубине до 5 см. [4].

Заделка остатков должна быть начата осенью, сразу после уборки кукурузы. Такая заделка позволяет почти полностью завершить процесс минерализации растительных остатков до начала весенних полевых работ. К тому же, чем больше времени пожнивные остатки находятся на поверхности поля, тем меньше полезных элементов в них остаётся [3], [4].

Помимо пополнения почвы питательными элементами растительные остатки поддерживают температурный режим и сохраняют достаточный уровень влажности в почвах, выполняя функции мульчирующего слоя, улучшают структуру почвы, её воздухо- и водопроницаемость.

При классической отвальной технологии все растительные остатки в том виде, в котором они остаются на поверхности поля, запахиваются на дно борозды в глубину ниже 22-24 см, это затрудняет их быстрое разложение [4].

В настоящий период возникает актуальная задача разработки такой технологии обработки почвы и орудия её выполняющего, когда необходимо не спрятать растительные остатки поглубже, а перемешать их с верхним слоем, чтобы способствовать максимально быстрому их разложению.

Цель исследований

Провести обзор существующего комплекса технических средств механической обработки пожнивно-корневых остатков кукурузы отечественного и импортного производства, путем анализа конструктивных особенностей рабочих органов для определения направления разработки почвообрабатывающего орудия с улучшенными технологическими показателями.

Методика исследований

Исследования проводились путем анализа конструкций, технических характеристик, параметров и показателей работы почвообрабатывающих машин, применяемых в качестве деформаторов послеуборочных пожнивных остатков высокостебельных сельскохозяйственных культур.

Результаты исследования

Чтобы заделать в почву, оставшуюся на поле после уборки биологическую массу кукурузы, существуют разные способы. Один из них предусматривает предварительную подготовку пожнивных остатков перед тем, как её заделать в почву. Способ заключается в измельчении стерни и лежащих на поверхности поля стеблей кукурузы. Для этой цели применяют орудия, называемые ножевыми роллерами, катками-измельчителями (рисунок 1) [5], [6], [15]. Орудие представляет собой рамную конструкцию с набором стальных барабанов. Барабаны можно заполнять водой для увеличения массы. На каждом барабане по периметру устанавливаются ножи с закаленной режущей кромкой. При движении агрегата на скорости до 18 км/ч, происходит заваливание, деформирование и измельчение послеуборочных пожнивных остатков. Такая конструкция применяется в измельчителях РН-8, MaxiCut, ИПО-4,5, ПТ-6 и КЗК-6-04 [5], [6], [8], [9].



Рис. 1 – Измельчители растительных остатков:
а – роллер РН-8; б – роллер MaxiCut

С целью интенсификации процесса резания пожнивных остатков ножи на поверхности барабана имеют различное расположение (рисунок 2). Наряду с прямым, фронтальным к направлению движения агрегата, расположением ножей (Рисунок 2,а) применяют винтовое расположение ножей на барабане (Рисунок 2,б). Для создания угла резания, ножи располагают клиновидно с вершиной в направлении вращения барабана (Рисунок 2,в). Также возможно расположение коротких ножей в шахматном порядке на поверхности барабана (Рисунок 2,г).



Рис. 2 – Форма барабана катка-измельчителя:
а – с прямыми ножами; б – с винтовыми ножами; в – с клиновидными ножами;
г – с шахматным расположением прямых ножей

Роллеры или катки-измельчители в большинстве агрегируются в прицепном варианте с тракторами мощностью 55-60 кВт, имеют ширину захвата 6-8 м, три-четыре барабана диаметром 470-540 мм, при скорости 9-12 км/ч работают с производительностью 4,2-7,2 га/ч.

При увеличении ширины захвата катка-измельчителя растительных остатков происходит наращивание количества барабанов или их длины, что отражается на качестве работы, копировании рельефа поля. Для улучшения технологических показателей барабаны изготавливают малой длины (Рисунок 3) с многорядным расположением их по фронту орудия [10]. Причем ножи могут располагаться прямолинейно и по винтовой линии, с возможностью шагового

изменения угла атаки барабана. К примеру, на измельчителе пожнивных остатков Chop Worker устанавливается 16 барабанов в два ряда.



Рис. 3 – Измельчитель пожнивных остатков Chop Worker

Другим способом обработки полей с пожнивными остатками кукурузы осуществляют орудиями, включающими дисковые рабочие органы. На таком принципе основан агрегат БОРС-9 (рисунок 4). В конструкции применена ромбовидная система дисков, работающая по принципу гибкого цепного вала. Цельнолитой диск массой 11 кг с острой режущей частью измельчает растительные остатки кукурузы, перемешивает их с почвой с заделкой в почву на 2-3 см [11], [14]. При ширине захвата 9,2 м и скоростях движения 10-15 км/ч, производительность агрегата составляет 9-13,5 га/ч.

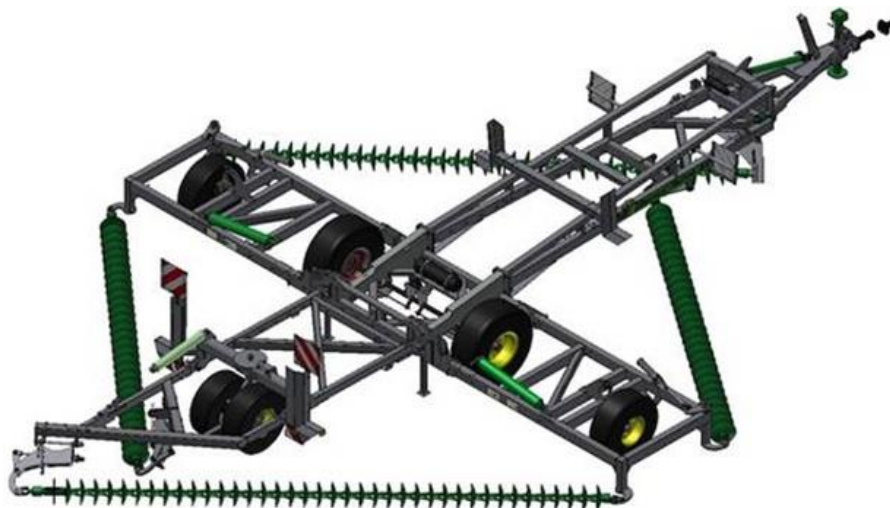


Рис. 4 – Агрегат дисковый БОРС-9

Дисковый рабочий орган устанавливается на дисковых боронах, дискаторах, мульчировщиках. В конструкциях этих орудий применяется двух следовая схема установки дисковых батарей для лучшего разрушения корневой системы и измельчения пожнивных остатков кукурузы [12] (Рисунок 5).



Рис. 5 – Дисковая борона True-Tandem фирмы Case IH

Послеуборочная доработка пожнивных остатков кукурузы возможна орудиями с активным приводом рабочих органов. На рисунке 6 представлен мульчировщик-измельчитель Tornado 280 от фирмы Gaspardo. Навесные орудия с шириной захвата от 2,8 до 6,2 м позволяют измельчать пожнивные остатки кукурузы с толщиной стебля до 6 см [13].



Рис. 6 – Мульчировщик-измельчитель Tornado 280

Заключение

От системы обработки почвы в большой мере зависит почвенное плодородие. При заделке растительных остатков в верхний слой почвы при свободном доступе кислорода происходит их разложение, в результате улучшается структура почвы, повышается содержание органического вещества в обрабатываемом слое. В результате анализа комплекса машин установлено, что для заделки пожнивных остатков высокостебельных сельскохозяйственных культур, особенно с высокой степенью волокнистости стебля, существует комплекс технических средств с пассивными и активными рабочими органами. Орудия производятся как отечественными, так и зарубежными предприятиями. Измельченная биологическая масса пожнивных остатков перемешивается с почвой на глубину до 10 см. Растительные остатки после уборки кукурузы на зерно, не полностью заделанные в почву, не разлагаются к началу весенних почвообрабатывающих полевых работ и являются помехой при выполнении предпосевных работ. Для разработки машин, позволяющих выполнять технологию обработки почвы с заделкой незерновой части урожая после уборки кукурузы, эффективнее использовать пассивные органы с криволинейной геометрией рабочей поверхности.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Кукуруза: площади, сборы и урожайность в 2001-2019 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://ab-centre.ru/news/kukuruza-ploschadi-sbory-i-urozhaynost-v-2001-2019-gg> (дата обращения: 12.06.2021)
2. Кальций и пожнивные остатки кукурузы. [Электронный ресурс]. URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5db17f1a06cc4600b034eb59/kalcii-i-pojnivnye-ostatki-kukuruzy5f631c851ccbe428a60b5a14> (дата обращения: 12.06.2021)
3. Значение послежнивных остатков для будущих урожаев. [Электронный ресурс]. URL: <https://agrostory.com/info-centre/agronomists/znachenie-poslezhnivnykh-ostatkov-dlya-budushchikh-urozhaev/> (дата обращения: 12.06.2021)
4. Кукурузная солома в почвенном «меню». [Электронный ресурс]. URL: <https://agriculture.by/articles/rasteniievodstvo/kukuruznaja-soloma-v-pochvennom-menju> (дата обращения: 12.06.2021)
5. Роллер ножевой РН-8. [Электронный ресурс]. URL: <https://szzr-market.ru/2019/06/04/роллер-ножевой-рн-8/> (дата обращения: 12.06.2021)
6. Роллер MaxiCut. [Электронный ресурс]. URL: <https://agrotime63.ru/tehnika/dal-bo/nozhevoj-roller/> (дата обращения: 12.06.2021)
7. Измельчитель пожнивных остатков ИПО-4,5 «Ураган». [Электронный ресурс]. URL: <https://agtz.ru/technique/soil-processing-tools/tilling-machines/izmelchitel-pozhnivnykh-ostatkov-ipo-4-5-uragan/> (дата обращения: 12.06.2021)
8. Каток измельчитель растительных остатков КЗК-6-04. [Электронный ресурс]. URL: <https://stavropol.flagma.ru/katok-izmelchitel-rastitelnykh-ostatkov-kzk-o4097863.html> (дата обращения: 12.06.2021)
9. Измельчитель пожнивных остатков прицепной ПТ-6 шахматный. [Электронный ресурс]. URL: <https://bekveld.ru/p366334034-izmelchitel-pozhnivnykh-ostatkov.html> (дата обращения: 12.06.2021)
10. Измельчитель пожнивных остатков Chop Worker. [Электронный ресурс]. URL: <https://agro-sells.com/uk/aleksandriya/search/tehnika/poslebor-obrabotka/raznaya-obrab/izmelchitel-pozhnivnykh-ostatkov-chop-worker-33654.html> (дата обращения: 12.06.2021)
11. Агрегат дисковый (луцильник) БОРС-9. [Электронный ресурс]. URL: <http://szzr-market.ru/2019/04/24/агрегат-для-измельчения-грубостебел/> (дата обращения: 12.06.2021)
12. Тандемные дисковые бороны True Tandem. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.caseih.com/apac/ru/ru/products/tillage/true-tandem-disk-harrow> (дата обращения: 12.06.2021)
13. Gaspardo Tornado 280 Мульчировщик измельчитель пожнивных остатков. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mirtech.ru/catalog/izmelchiteli-rastitelnykh-ostatkov> (дата обращения: 12.06.2021)
14. СТО АИСТ 4.1-2004. Метод определения степени и глубины заделки стерни. Машины и орудия для глубокой обработки почвы.
15. Федеральный регистр технологий производства продукции растениеводства. Система технологий. М.: ГНУ Информагротех, 2000.-517 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kukuruz: ploshhadi, sbory i urozhajnost' v 2001-2019 gg. [Corn: area, harvest and yield in 2001-2019] [Electronic resource]. URL: <https://ab-centre.ru/news/kukuruz-ploshchadi-sbory-i-urozhaynost-v-2001-2019-gg> (accessed: 12.06.2021) [in Russian]
2. Kal'cij i pozhnivnye ostatki kukuruzy [Calcium and corn crop residues] [Electronic resource]. URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5db17f1a06cc4600b034eb59/kalcii-i-pojnivnye-ostatki-kukuruzy5f631c851ccbe428a60b5a14> (accessed: 12.06.2021) [in Russian]
3. Znachenie poslezhnivnykh ostatkov dlja budushhikh urozhayev [The value of post-harvest residues for future crops] [Electronic resource]. URL: <https://agrostory.com/info-centre/agronomists/znachenie-poslezhnivnykh-ostatkov-dlya-budushchikh-urozhayev/> (accessed: 12.06.2021) [in Russian]
4. Kukuruznaja soloma v pochvennom «menju» [Corn straw in the soil "menu"] [Electronic resource]. URL: <https://agriculture.by/articles/rastenievodstvo/kukuruznaja-soloma-v-pochvennom-menju> (accessed: 12.06.2021) [in Russian]
5. Roller nozhevojj RN-8 [Knife roller RN-8] [Electronic resource]. URL: <https://szzr-market.ru/2019/06/04/роллер-ножевой-рн-8/> (accessed: 12.06.2021) [in Russian]
6. Roller MaxiCut. [Electronic resource]. URL: <https://agrotime63.ru/texnika/dal-bo/nozhevoj-roller/> (accessed: 12.06.2021) [in Russian]
7. Izmel'chitel' pozhnivnykh ostatkov IPO-4,5 «Uragan» [Shredder of crop residues IPO-4,5 "Uragan"] [Electronic resource]. URL: <https://agtz.ru/technique/soil-processing-tools/tilling-machines/izmelchitel-pozhnivnykh-ostatkov-ipo-4-5-uragan/> (accessed: 12.06.2021) [in Russian]
8. Katok izmel'chitel' rastitel'nykh ostatkov KZK-6-04 [Roller shredder of plant residues KZK-6-04] [Electronic resource]. URL: <https://stavropol.flagma.ru/katok-izmelchitel-rastitelnykh-ostatkov-kzk-o4097863.html> (accessed: 12.06.2021) [in Russian]
9. Izmel'chitel' pozhnivnykh ostatkov pricepnojj PT-6 shakhmatnyjj [Chopper of crop residues trailed PT-6 chess] [Electronic resource]. URL: <https://bekveld.ru/p366334034-izmelchitel-pozhnivnykh-ostatkov.html> (accessed: 12.06.2021) [in Russian]
10. Izmel'chitel' pozhnivnykh ostatkov Chop Worker [Chopper of crop residues Chop Worker] [Electronic resource]. URL: <https://agro-sells.com/uk/aleksandriya/search/tehnika/posleubor-obrabotka/raznaya-obrab/izmelchitel-pozhnivnykh-ostatkov-chop-worker-33654.html> (accessed: 12.06.2021) [in Russian]
11. Agregat diskovyyj (lushhil'nik) BORS-9 [Disk unit (husker) BORS-9] [Electronic resource]. URL: <http://szzr-market.ru/2019/04/24/агрегат-для-измельчения-грубостебел/> [in Russian]
12. Tandemnye diskovye borony True Tandem [Tandem disc harrows True Tandem] [Electronic resource]. URL: <https://www.caseih.com/apac/ru-ru/products/tillage/true-tandem-disk-harrows> [in Russian]
13. Gaspardo Tornado 280 Mul'chirovshhik izmel'chitel' pozhnivnykh ostatkov [Gaspardo Tornado 280 Mulcher shredder of crop residues] [Electronic resource]. URL: <https://www.mirtech.ru/catalog/izmelchiteli-rastitelnykh-ostatkov> (accessed: 12.06.2021) [in Russian]
14. STO AIST (Agricultural Machinery and Technology Testers Association Standards) 4.1-2004. Metod opredeleniya stepeni i glubiny zadelki storni. Mashiny i orudija dlja glubokoj obrabotki pochvy [Method for determining the degree and depth of stubble embedding. Machines and tools for deep tillage] [in Russian]
15. Federal'nyjj registr tekhnologijj proizvodstva produkcii rastenievodstva [Federal Register of Crop Production Technologies. The technology system]. Moscow: GNU Informagrotech, 2000. - 517 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.002>

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОКОМПОНЕНТНОГО СОПОСТАВЛЕНИЯ ЗНАКОВ РЕШЕНИЯ, ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ ПРОИЗВОДНОЙ РЕШЕНИЯ

Научная статья

Буланов С.Г.*

ORCID: 0000-0002-8532-4172,

Таганрогский институт имени А.П. Чехова (филиал) РГЭУ (РИНХ), Таганрог, Россия

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

Аннотация

Предложен подход к анализу устойчивости в смысле Ляпунова систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений. Подход основан на покомпонентном сопоставлении знаков решения, первой и второй производной решения. Установлены комбинации знаков, которые являются достаточными условиями устойчивости, асимптотической устойчивости и неустойчивости. Отличительной особенностью предложенного подхода является то, что не используются методы качественной теории. Теоретические положения доведены до практической программной реализации. Приближенные значения решения, первой и второй производной решения находятся на основе разностных методов. Проведен программный и численный эксперимент в условиях меняющихся систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений, длины промежутка решения, разностных методов решения.

Ключевые слова: устойчивость по Ляпунову, компьютерный анализ устойчивости, численное моделирование устойчивости.

AN ANALYSIS OF THE STABILITY OF SYSTEMS OF LINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS BASED ON A COMPONENT-BY-COMPONENT COMPARISON OF THE SIGNS OF THE SOLUTION, THE FIRST AND SECOND DERIVATIVES OF THE SOLUTION

Research article

Bulanov S.G.*

ORCID: 0000-0002-8532-4172,

A.P. Chekhov Taganrog Institute (branch) of Rostov State University of Economics, Taganrog, Russia

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

Abstract

The current article proposes an approach to the analysis of stability in the sense of Lyapunov systems of linear ordinary differential equations. The approach is based on a component-by-component comparison of the signs of the solution, the first and second derivatives of the solution. Combinations of signs that are sufficient conditions for stability, asymptotic stability and instability are established. A distinctive feature of the proposed approach is that the methods of qualitative theory are not used. The theoretical provisions have been brought towards practical program implementation. Approximate values of the solution, the first and second derivatives of the solution are found on the basis of difference methods. A program and numerical experiment are carried out under the conditions of changing systems of linear ordinary differential equations, the length of the solution interval, and difference methods of solution.

Keywords: Lyapunov stability, computer analysis of stability, numerical modeling of stability.

Введение

Методы анализа устойчивости в смысле Ляпунова систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) находят применение в различных областях науки и техники [1], [2]. Вместе с тем отмечается недостаток внедрения компьютерных технологий в области анализа устойчивости, включая задачи устойчивости систем линейных ОДУ с переменной матрицей коэффициентов. Такое внедрение представляется важным для приложений и теории, поскольку к системам линейных ОДУ с помощью линеаризации сводится анализ устойчивости некоторых общих методов качественной теории дифференциальных уравнений и методов, основанных на векторно-матричных мультипликативных и аддитивных преобразованиях разностных схем численного интегрирования [3], [4]. Прикладная значимость разработки компьютерного анализа устойчивости особо актуальна для исследования устойчивости систем линейных ОДУ при моделировании работы генераторов в энергетических системах большой мощности [5].

Рассмотрим задачу Коши для системы линейных ОДУ вида

$$\frac{dY}{dt} = A(t)Y, Y(t_0) = Y_0 \quad (1)$$

Ниже используется норма вектора $\|Y(t)\| = \max_{1 \leq k \leq n} |y_k(t)|$. Под $y_k(t)$, $y'_k(t)$, $y''_k(t)$ понимается значение k -й компоненты решения, первой и второй производной решения в точке $t \in [t_0, \infty)$.

Предполагается, что $\exists \delta > 0$, такое, что для (1) выполнены все условия существования и единственности решения $Y = Y(t)$, $Y(t_0) = Y_0$ на t_0, ∞ и для каждого его возмущения с начальным вектором, удовлетворяющим условию

$\|\tilde{Y}_0 - Y_0\| \leq \delta$. Элементы матрицы $A(t)$, размерности $n \times n$, определены, непрерывны и непрерывно дифференцируемы.

Ставится задача разработать подход к анализу устойчивости системы (1) в смысле Ляпунова. Подход строится в предположении, что ограниченность компонентов $Y(t)$ может определяться знаком компонентов $Y'(t) = A(t)Y$, а $Y'(t)$ – знаком компонентов $Y''(t) = A'(t) + A^2(t)Y$. Покомпонентное сопоставление знаков решения, первой и второй производной решения приводит к достаточным условиям устойчивости, асимптотической устойчивости и неустойчивости системы (1).

Методы и принципы исследования

Всюду ниже на устойчивость исследуется нулевое решение системы (1). Величина возмущения нулевого решения обозначается $Y(t)$. Формулируемые ниже утверждения следуют из представленных в [6] для нелинейных автономных систем с учетом свойств систем линейных ОДУ:

1. Если $\exists \Delta > 0$, $\Delta \leq \delta$, такое, что $\forall Y(0) : 0 < \|Y(0)\| \leq \Delta$, $\forall k \in \overline{1, n}$ верны неравенства $y_k(t) \geq 0$, $y'_k(t) \leq 0$, $y''_k(t) \geq 0 \quad \forall t \in [0, \infty)$, то решение системы (1) устойчиво.

В данных условиях функция $y_k(t)$ не возрастает, поэтому $0 \leq y_k(t) \leq y_k(0) \quad \forall t \in [0, \infty)$. Следовательно для $\forall \varepsilon > 0$, при выборе $\Delta \leq \varepsilon$, выполняется неравенство $|y_k(t)| \leq \varepsilon \quad \forall t \in [0, \infty)$, $\forall k \in \overline{1, n}$.

2. Если $\exists \Delta > 0$, $\Delta \leq \delta$, такое, что $\forall Y(0) : 0 < \|Y(0)\| \leq \Delta$, $\forall k \in \overline{1, n}$ верны неравенства $y_k(t) \leq 0$, $y'_k(t) \geq 0$, $y''_k(t) \leq 0 \quad \forall t \in [0, \infty)$, то решение системы (1) устойчиво.

Утверждение доказывается по аналогии с п.1.

3. Если для некоторых $k = k_1 \in \overline{1, n}$ выполнены условия п.1, а для всех остальных $k = k_2 \in \overline{1, n}$ – условия п.2, то решение системы (1) устойчиво.

Теорема 1. Если решение задачи (1) устойчиво и $\exists \Delta_1 > 0$, $\Delta_1 \leq \Delta$, такое, что $\forall Y(0) : 0 < \|Y(0)\| \leq \Delta_1$, $\forall k \in \overline{1, n}$ выполняется пара неравенств $y_k(t) \geq 0$, $y'_k(t) < 0$ или $y_k(t) \leq 0$, $y'_k(t) > 0 \quad \forall t \in [0, \infty)$, и при этом $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} y'_k(t) = \bar{q}_k$, $|\bar{q}_k| \neq \infty$, то решение системы (1) асимптотически устойчиво.

Доказательство. Для $\forall Y(0) : 0 < \|Y(0)\| \leq \Delta_1$ произвольно зафиксируем $k \in \overline{1, n}$ и выберем $y_k(0) : 0 \leq y_k(0) \leq \Delta_1$, при котором выполняется $y_k(t) \geq 0$, $y'_k(t) < 0 \quad \forall t \in [0, \infty)$, и $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} y'_k(t) = \bar{q}_k$, $|\bar{q}_k| \neq \infty$.

Предположение, что $\bar{q}_k \neq 0$, окажется в противоречии с устойчивостью. При этом предположении, $\exists q_k$, $q_k = \text{const}$, $\bar{q}_k < q_k < 0$, такое что, начиная с некоторого t_1 , выполняется неравенство: $y'_k(t) < q_k$

$\forall t \in [t_1, \infty]$. Тогда $y_k(t) = y_k(0) + \int_0^t y'_k(t) dt + \int_{t_1}^t y'_k(t) dt$, где $\left| \int_{t_1}^t y'_k(t) dt \right| \geq \left| \int_{t_1}^t q_k dt \right|$, и

$\left| \int_{t_1}^t q_k dt \right| = |q_k|(t - t_1) \rightarrow \infty$, если $t \rightarrow \infty$. Отсюда $|y_k(t)| = \left| y_k(0) + \int_0^t y'_k(t) dt \right| \rightarrow \infty$ при $t \rightarrow \infty$. Последнее

свидетельствует о неустойчивости нулевого решения, что противоречит условию. Предположение неверно, поэтому в рассматриваемых условиях выполняется $\lim_{t \rightarrow \infty} y'_k(t) = 0$. Поскольку $y'_k(t) = y'_k(y_1(t), y_2(t), \dots, y_n(t))$, и $Y'(t) = \bar{O}$

тогда и только тогда, когда $Y(t) = \bar{O}$, с учетом произвольности выбора $k \in \overline{1, n}$, соотношение $\lim_{t \rightarrow \infty} y'_k(t) = 0$ возможно

только, если $\lim_{t \rightarrow \infty} y_\ell(t) = 0 \quad \forall \ell \in \overline{1, n}$. Поэтому решение системы асимптотически устойчиво. Аналогично выполняется

доказательство для случая $y_k(t) \leq 0$, $y'_k(t) > 0$.

Теорема 2. Пусть решение системы (1) устойчиво. Если $\exists \Delta_2$, такое, что $\forall Y(0) : 0 < \|Y(0)\| \leq \Delta_2$, $\forall k \in \overline{1, n}$ выполняется пара неравенств $y'_k(t) \geq 0$, $y''_k(t) < 0$ или $y'_k(t) \leq 0$, $y''_k(t) > 0 \quad \forall t \in [0, \infty)$, то решение системы (1) асимптотически устойчиво.

Доказательство. Пусть зафиксировано $\forall k \in \overline{1, n}$ и выбрано $y_k(0) : 0 \leq |y_k(0)| \leq \Delta_2$. При выполнении первой пары неравенств функция $y'_k(t)$ убывает и ограничена снизу. Поэтому $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} y'_k(t) = q_k$, $q_k \geq 0$. Если предположить,

что $q_k > 0$, возникнет противоречие. Так как $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} y_k(t) = y_k(0) + \lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t y'_k(t) dt$, $\exists \gamma_k = \text{const}$, $0 < \gamma_k < q_k$,

$\exists t_1 \geq 0$ такие, что $y'_k(t) \geq \gamma_k \quad \forall t \geq t_1$. Следовательно $\lim_{t \rightarrow \infty} y_k(t) \geq y_k(0) + \int_0^{t_1} y'_k(t) dt + \lim_{t \rightarrow \infty} \int_{t_1}^t \gamma_k dt$, где $\lim_{t \rightarrow \infty} \int_{t_1}^t \gamma_k dt = \infty$. Поэтому $\lim_{t \rightarrow \infty} y_k(t) = \infty$ вопреки устойчивости. Предположение неверно, следовательно $q_k = 0$. С

учетом произвольности выбора $k \in \overline{1, n}$ и $y_k(0)$ соотношение $\lim_{t \rightarrow \infty} y'_k(t) = 0$ возможно только, если $\lim_{t \rightarrow \infty} y_\ell(t) = 0 \quad \forall \ell \in \overline{1, n}$. Отсюда следует асимптотическая устойчивость решения системы (1). Аналогично выполняется доказательство для случая $y'_k(t) \leq 0, y''_k(t) > 0$.

Теорема 3. Если для задачи (1) $\forall \Delta_3 > 0 \exists Y(t) : 0 < \|Y(0)\| \leq \Delta_3, \exists k \in \overline{1, n}, \exists t_0 > 0$, такие, что выполняется пара неравенств $y_k(t) \geq 0, y'_k(t) > 0$ или $y_k(t) \leq 0, y'_k(t) < 0, \forall t \in [t_0, \infty)$, при этом выполняется $y''_k(t) \leq 0$ или $y''_k(t) \geq 0 \quad \forall t \in [t_0, \infty)$, то решение системы (1) неустойчиво.

Доказательство. Пусть для определенности выполняются неравенства $y_k(t) \geq 0, y'_k(t) > 0$. Если функция $y_k(t)$ ограничена сверху, то $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} y_k(t) = p < \infty$. При этом $p > 0$ с учетом возрастания $y_k(t)$. Если в этом случае предположить, что решение устойчиво и $y''_k(t) \leq 0 \quad \forall t \in [t_0, \infty)$, то необходимо $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} y'_k(t) = 0$. Следовательно $\lim_{t \rightarrow \infty} y_k(t) = 0$, что противоречит $p > 0$. Если предположить, что решение устойчиво и $y''_k(t) \geq 0 \quad \forall t \in [t_0, \infty)$, то функция $y'_k(t)$ ограничена, не убывает, следовательно, имеет предел $\lim_{t \rightarrow \infty} y'_k(t) = q > 0$. Поэтому $\exists \lim_{t \rightarrow \infty} y_k(t) = \infty$, что противоречит устойчивости. Остается предположить, что $y_k(t)$ не ограничено сверху, но это также означает, что решение неустойчиво. Случай $y_k(t) \leq 0, y'_k(t) < 0$ доказывается аналогично.

Численный и программный эксперимент

Эксперимент проводился с помощью ПК на базе процессора Intel(R) Core(TM) i5-4460 в среде программирования Delphi. Написаны программы, на основе которых находятся приближенные значения решения системы (1), первой и второй производной решения. Требуемые приближения ниже находятся на основе метода Рунге-Кутты. Системы исследуются при значении шага разностной схемы 10^{-4} , величина возмущения начальных данных 10^{-5} , промежуток решения $[0, 10^4]$. Использование метода Батчера 6-го и Дормана-Принса 8-го порядков требует больших временных затрат при неизменной трактовке характера устойчивости исследуемых систем.

Пример 1. Исследуется на устойчивость система [7]

$$y'_1 = -y_1 + \frac{y_2}{1+t^2}, \quad y'_2 = -\frac{y_1}{1+t^2} - y_2. \quad (2)$$

В [7] выполнялся анализ устойчивости системы (2) на основе матричных мультипликативных критериев и было установлено, что система асимптотически устойчива. В табл. 1 и табл. 2 приводятся численные значения решения, первой и второй производной решения системы (1) в десяти узловых точках.

Таблица 1 – Численные значения $y_1(t), y'_1(t), y''_1(t)$ системы (2)

t	$y_1(t)$	$y'_1(t)$	$y''_1(t)$
10^3	$5,081 \times 10^{-440}$	$-5,081 \times 10^{-440}$	$5,081 \times 10^{-440}$
2×10^3	$2,578 \times 10^{-874}$	$-2,578 \times 10^{-874}$	$2,578 \times 10^{-874}$
3×10^3	$1,308 \times 10^{-1308}$	$-1,308 \times 10^{-1308}$	$1,308 \times 10^{-1308}$
4×10^3	$6,640 \times 10^{-1743}$	$-6,640 \times 10^{-1743}$	$6,640 \times 10^{-1743}$
5×10^3	$3,370 \times 10^{-2177}$	$-3,370 \times 10^{-2177}$	$3,370 \times 10^{-2177}$
6×10^3	$1,711 \times 10^{-2611}$	$-1,711 \times 10^{-2611}$	$1,711 \times 10^{-2611}$
7×10^3	$8,683 \times 10^{-3046}$	$-8,683 \times 10^{-3046}$	$8,683 \times 10^{-3046}$
8×10^3	$4,408 \times 10^{-3480}$	$-4,408 \times 10^{-3480}$	$4,408 \times 10^{-3480}$
9×10^3	$2,237 \times 10^{-3914}$	$-2,237 \times 10^{-3914}$	$2,237 \times 10^{-3914}$
10^4	$1,136 \times 10^{-4348}$	$-1,136 \times 10^{-4348}$	$1,136 \times 10^{-4348}$

Таблица 2 – Численные значения $y_2(t)$, $y_2'(t)$, $y_2''(t)$ системы (2)

t	$y_2(t)$	$y_2'(t)$	$y_2''(t)$
10^3	$-5,071 \times 10^{-440}$	$5,071 \times 10^{-440}$	$-5,071 \times 10^{-440}$
2×10^3	$-2,575 \times 10^{-874}$	$2,575 \times 10^{-874}$	$-2,575 \times 10^{-874}$
3×10^3	$-1,307 \times 10^{-1308}$	$1,307 \times 10^{-1308}$	$-1,307 \times 10^{-1308}$
4×10^3	$-6,637 \times 10^{-1743}$	$6,637 \times 10^{-1743}$	$-6,637 \times 10^{-1743}$
5×10^3	$-3,369 \times 10^{-2177}$	$3,369 \times 10^{-2177}$	$-3,369 \times 10^{-2177}$
6×10^3	$-1,710 \times 10^{-2611}$	$1,710 \times 10^{-2611}$	$-1,710 \times 10^{-2611}$
7×10^3	$-8,681 \times 10^{-3046}$	$8,680 \times 10^{-3046}$	$-8,680 \times 10^{-3046}$
8×10^3	$-4,406 \times 10^{-3480}$	$4,406 \times 10^{-3480}$	$-4,406 \times 10^{-3480}$
9×10^3	$-2,237 \times 10^{-3914}$	$2,237 \times 10^{-3914}$	$-2,237 \times 10^{-3914}$
10^4	$-1,135 \times 10^{-4348}$	$1,135 \times 10^{-4348}$	$-1,135 \times 10^{-4348}$

В целом программа позволяет находить отрезки, на которых сохраняется определенная комбинация знаков решения, первой и второй производной решения. На основе численного эксперимента было установлено, что комбинация знаков $y_1(t) > 0$, $y_1'(t) < 0$, $y_1''(t) > 0$ сохраняется при $t \geq 0.6256$, а комбинация $y_2(t) < 0$, $y_2'(t) > 0$, $y_2''(t) < 0$ при $t \geq 2.397$. В соответствии с теоремой 1 и теоремой 2 это свидетельствует об асимптотической устойчивости системы (2).

Пример 2. Исследуется на устойчивость система

$$y_1' = y_1 + 2y_2, \quad y_2' = y_2. \quad (3)$$

Таблица 3 – Численные значения $y_1(t)$, $y_1'(t)$, $y_1''(t)$ системы (3)

t	$y_1(t)$	$y_1'(t)$	$y_1''(t)$
10^3	$3,942 \times 10^{432}$	$3,946 \times 10^{432}$	$3,950 \times 10^{432}$
2×10^3	$1,553 \times 10^{867}$	$1,554 \times 10^{867}$	$1,554 \times 10^{867}$
3×10^3	$4,589 \times 10^{1301}$	$4,590 \times 10^{1301}$	$4,592 \times 10^{1301}$
4×10^3	$1,205 \times 10^{1736}$	$1,206 \times 10^{1736}$	$1,206 \times 10^{1736}$
5×10^3	$2,968 \times 10^{2170}$	$2,969 \times 10^{2170}$	$2,970 \times 10^{2170}$
6×10^3	$7,016 \times 10^{2604}$	$7,017 \times 10^{2604}$	$7,019 \times 10^{2604}$
7×10^3	$1,613 \times 10^{3039}$	$1,613 \times 10^{3039}$	$1,613 \times 10^{3039}$
8×10^3	$3,631 \times 10^{3473}$	$3,631 \times 10^{3473}$	$3,632 \times 10^{3473}$
9×10^3	$8,047 \times 10^{3907}$	$8,048 \times 10^{3907}$	$8,049 \times 10^{3907}$
10^4	$1,761 \times 10^{4342}$	$1,762 \times 10^{4342}$	$1,762 \times 10^{4342}$

Для первой компоненты решения, первой и второй производной решения на всем промежутке выполняется комбинация знаков $y_1(t) > 0$, $y_1'(t) > 0$, $y_1''(t) > 0$.

Таблица 4 – Численные значения $y_2(t)$, $y_2'(t)$, $y_2''(t)$ системы (3)

t	$y_2(t)$	$y_2'(t)$	$y_2''(t)$
10^3	$1,970 \times 10^{429}$	$1,970 \times 10^{429}$	$1,970 \times 10^{429}$
2×10^3	$3,881 \times 10^{863}$	$3,881 \times 10^{863}$	$3,881 \times 10^{863}$
3×10^3	$7,646 \times 10^{1297}$	$7,646 \times 10^{1297}$	$7,646 \times 10^{1297}$
4×10^3	$1,506 \times 10^{1732}$	$1,506 \times 10^{1732}$	$1,506 \times 10^{1732}$
5×10^3	$2,968 \times 10^{2166}$	$2,968 \times 10^{2166}$	$2,968 \times 10^{2166}$
6×10^3	$5,846 \times 10^{2600}$	$5,846 \times 10^{2600}$	$5,846 \times 10^{2600}$
7×10^3	$1,152 \times 10^{3035}$	$1,152 \times 10^{3035}$	$1,152 \times 10^{3035}$
8×10^3	$2,269 \times 10^{3469}$	$2,269 \times 10^{3469}$	$2,269 \times 10^{3469}$
9×10^3	$4,470 \times 10^{3903}$	$4,470 \times 10^{3903}$	$4,470 \times 10^{3903}$
10^4	$8,807 \times 10^{4337}$	$8,807 \times 10^{4337}$	$8,807 \times 10^{4337}$

Аналогичный результат имеет место для второй компоненты. В соответствии с теоремой 3 это свидетельствует о неустойчивости системы (3).

Пример 3. Исследуется на устойчивость нулевое решение нелинейной системы

$$y_1' = -\frac{y_1}{4} + \frac{y_2}{1+t} + y_1(y_1^2 + y_2^2), \quad y_2' = -\frac{y_1}{1+t} - \frac{y_2}{4} + y_2(y_1^2 + y_2^2). \quad (4)$$

В табл. 5 и табл. 6 представлены численные значения решения, первой и второй производной решения системы (4). Согласно представленным выше условиям, полученные комбинации знаков свидетельствуют об асимптотической устойчивости нулевого решения системы (4). При этом в отличие от предыдущих случаев для первой компоненты решения и ее производных наблюдается переход от комбинации знаков $y_1(t) > 0$, $y_1'(t) < 0$, $y_1''(t) > 0$ к комбинации $y_1(t) < 0$, $y_1'(t) > 0$, $y_1''(t) < 0$. Аналогичный результат имеет место для второй компоненты решения и ее первой и второй производной.

Таблица 5 – Численные значения $y_1(t)$, $y_1'(t)$, $y_1''(t)$ системы (4)

t	$y_1(t)$	$y_1'(t)$	$y_1''(t)$
10^3	$3,727 \times 10^{-114}$	$-9,311 \times 10^{-115}$	$2,326 \times 10^{-115}$
2×10^3	$8,679 \times 10^{-223}$	$-2,172 \times 10^{-223}$	$5,437 \times 10^{-224}$
3×10^3	$1,590 \times 10^{-331}$	$-3,983 \times 10^{-332}$	$9,975 \times 10^{-333}$
4×10^3	$2,428 \times 10^{-440}$	$-6,088 \times 10^{-441}$	$1,526 \times 10^{-441}$
5×10^3	$2,332 \times 10^{-549}$	$-5,867 \times 10^{-550}$	$1,476 \times 10^{-550}$
6×10^3	$-3,082 \times 10^{-658}$	$7,620 \times 10^{-659}$	$-1,884 \times 10^{-659}$
7×10^3	$-2,905 \times 10^{-766}$	$7,243 \times 10^{-767}$	$-1,806 \times 10^{-767}$
8×10^3	$-1,242 \times 10^{-874}$	$3,102 \times 10^{-875}$	$-7,744 \times 10^{-876}$
9×10^3	$-4,368 \times 10^{-983}$	$1,091 \times 10^{-983}$	$-2,725 \times 10^{-984}$
10^4	$-1,403 \times 10^{-1091}$	$3,506 \times 10^{-1092}$	$-8,759 \times 10^{-1093}$

Таблица 6 – Численные значения $y_2(t)$, $y_2'(t)$, $y_2''(t)$ системы (4)

t	$y_2(t)$	$y_2'(t)$	$y_2''(t)$
10^3	$6,008 \times 10^{-115}$	$-1,539 \times 10^{-115}$	$3,941 \times 10^{-116}$
2×10^3	$-5,118 \times 10^{-223}$	$1,275 \times 10^{-223}$	$-3,177 \times 10^{-224}$
3×10^3	$-2,169 \times 10^{-331}$	$5,417 \times 10^{-332}$	$-1,353 \times 10^{-332}$
4×10^3	$-6,755 \times 10^{-440}$	$1,688 \times 10^{-440}$	$-4,219 \times 10^{-441}$
5×10^3	$-1,902 \times 10^{-548}$	$4,754 \times 10^{-549}$	$-1,188 \times 10^{-549}$
6×10^3	$-5,105 \times 10^{-657}$	$1,276 \times 10^{-657}$	$-3,191 \times 10^{-658}$
7×10^3	$-1,334 \times 10^{-765}$	$3,335 \times 10^{-766}$	$-8,339 \times 10^{-767}$
8×10^3	$-3,425 \times 10^{-874}$	$8,565 \times 10^{-875}$	$-2,142 \times 10^{-875}$
9×10^3	$-8,690 \times 10^{-983}$	$2,173 \times 10^{-983}$	$-5,434 \times 10^{-984}$
10^4	$-2,184 \times 10^{-1091}$	$5,462 \times 10^{-1092}$	$-1,366 \times 10^{-1092}$

Так как нелинейные добавки $y_1(y_1^2 + y_2^2)$, $y_2(y_1^2 + y_2^2)$ стремятся к нулю при стремлении к нулю y_1 , y_2 , то анализ устойчивости системы (4), согласно теореме Ляпунова об устойчивости по первому приближению, может быть сведен к анализу линеаризованной системы

$$y_1' = -\frac{y_1}{4} + \frac{y_2}{1+t}, \quad y_2' = -\frac{y_1}{1+t} - \frac{y_2}{4}. \quad (5)$$

При анализе устойчивости системы (5) комбинации знаков решения, первой и второй производной решения для обоих компонент получились тождественными представленным в табл. 5, 6. Численные значения решения, первой и второй производной решения линеаризованной системы, с точностью не менее трех знаков после запятой совпадают с соответствующими им значениями нелинейной системы (4). Таким образом, результаты анализа устойчивости нелинейной системы и линеаризованной системы оказались в полном соответствии и свидетельствуют об асимптотической устойчивости нулевого решения системы (4).

Предложенный подход наряду с методом на основе матричных мультипликативных критериев [8], [9] может служить основой для разработки компьютерной технологии анализа устойчивости. Для нахождения приближенного значения решения систем линейных ОДУ с более высокой степенью точности, чем на основе разностных методов целесообразно применять метод варьируемого кусочно-интерполяционного приближения [10]. В результате помимо достигаемой точности решения, сокращается время на исследование, как следствие появляется возможность определять асимптотические свойства решения.

Заключение

Предложен подход к анализу устойчивости систем линейных ОДУ на основе покомпонентного сопоставления знаков решения, первой и второй производной решения. Отличительной особенностью подхода является, в частности, то, что при анализе устойчивости не требуется информация о характеристических числах и характеристических показателях. Подход доведен до компьютерной реализации. По результатам программного и численного эксперимента в режиме реального времени делается однозначный вывод о характере устойчивости исследуемых систем линейных ОДУ.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Giesl P. Computation of Lyapunov functions for nonlinear discrete time systems by linear programming / P. Giesl, S. Hafstein // J. Difference Equ. Appl. – 2014. – V. 20. – I. 4. – P. 610–640.
2. Zhaolu T. A numerical algorithm for Lyapunov equations / T. Zhaolu, G. Chuanqing // J. Appl. Math. Comput. – 2008. – V. 202. – I. 1. – P. 44–53.
3. Bulanov S.G. Differential systems stability analysis based on matrix multiplicative criteria / S.G. Bulanov // Journal of Physics: Conference Series. – Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems. – 2020. – P. 012103.
4. Bulanov S.G. Computer analysis of differential systems stability based on linearization and matrix multiplicative criteria / S.G. Bulanov // Journal of Physics: Conference Series. – Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems. – 2021. – P. 012101.
5. Ромм Я.Е. Компьютерный анализ устойчивости систем линейных дифференциальных уравнений с приложением к оценке устойчивости синхронного генератора / Я.Е. Ромм, С.Г. Буланов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – №5 (94). – С. 52–59.
6. Ромм Я.Е. Компьютерно-ориентированный анализ устойчивости решений дифференциальных систем / Я.Е. Ромм // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 4. – С. 42–63.
7. Ромм Я.Е. Метод компьютерного анализа устойчивости систем линейных дифференциальных уравнений / Я.Е. Ромм, С.Г. Буланов // Деп. в ВИНТИ. – 30.04.2009. – № 268. – 119 с.
8. Ромм Я.Е. Численный эксперимент по компьютерному анализу устойчивости линеаризованных систем нелинейных дифференциальных уравнений / Я.Е. Ромм, С.Г. Буланов // Деп. в ВИНТИ. – 14.07.2016. – № 102. – 18 с.
9. Ромм Я.Е. Численный эксперимент по компьютерному анализу устойчивости решений обыкновенных дифференциальных уравнений на основе критериев матричного вида / Я.Е. Ромм, С.Г. Буланов // Деп. в ВИНТИ. – 14.08.2017. – № 89. – 20 с.
10. Буланов С.Г. Программный анализ устойчивости систем обыкновенных дифференциальных уравнений на основе мультипликативных преобразований разностных схем и кусочно-полиномиальных приближений решения / С.Г. Буланов, Г.А. Джанунц // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2015. – № 2. – С. 10–20.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Giesl P. Computation of Lyapunov functions for nonlinear discrete time systems by linear programming / P. Giesl, S. Hafstein // J. Difference Equ. Appl. – 2014. – V. 20. – I. 4. – P. 610–640.
2. Zhaolu T. A numerical algorithm for Lyapunov equations / T. Zhaolu, G. Chuanqing // J. Appl. Math. Comput. – 2008. – V. 202. – I. 1. – P. 44–53.
3. Bulanov S.G. Differential systems stability analysis based on matrix multiplicative criteria / S.G. Bulanov // Journal of Physics: Conference Series. – Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems. – 2020. – P. 012103.
4. Bulanov S.G. Computer analysis of differential systems stability based on linearization and matrix multiplicative criteria / S.G. Bulanov // Journal of Physics: Conference Series. – Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems. – 2021. – P. 012101.
5. Romm Ya.E. Komp'yuternyj analiz ustojchivosti sistem linejnyh differencial'nyh uravnenij s prilozheniem k ocenke ustojchivosti sinhronnogo generatora / Ya.E. Romm, S.G. Bulanov [The computer analysis of a stability of systems of linear differential equations with application to an estimation stabilities of the synchronous generator] // Izvestija JuFU. Tehniceskie nauki [Izvestiya SFedU. Engineering sciences] – 2009. – №5 (94). – P. 52–59. [in Russian]
6. Romm Ya.E. Komp'yuterno-orientirovannyj analiz ustojchivosti reshenij differencial'nyh sistem [Computer-oriented stability analysis of solutions of differential systems] / Ya.E. Romm // Sovremennye naukoemkie tehnologii [Modern high technologies]. – 2020. – № 4. – P. 42–63. [in Russian]
7. Romm Ya.E. Metod komp'yuternogo analiza ustojchivosti sistem linejnyh differencial'nyh uravnenij [Method of computer analysis of stability of systems of linear differential equations] / Ya.E. Romm, S.G. Bulanov // Dep. v VINITI [Dep. in VINITI]. – 30.04.2009. – № 268. – 119 p. [in Russian]
8. Romm Ya.E. Chislennyj jeksperiment po komp'yuternomu analizu ustojchivosti linearizovannyh sistem nelinejnyh differencial'nyh uravnenij [Numerical experiment on computer analysis of stability of linearized systems of nonlinear differential equations] / Ya.E. Romm, S.G. Bulanov // Dep. v VINITI [Dep. in VINITI]. – 14.07.2016. – № 102. – 18 p. [in Russian]
9. Romm Ya.E. Chislennyj jeksperiment po komp'yuternomu analizu ustojchivosti reshenij obyknovennyh differencial'nyh uravnenij na osnove kriteriev matrichnogo vida [Numerical experiment on computer analysis of solutions stability of ordinary differential equations based on criteria of matrix form] / Ya.E. Romm, S.G. Bulanov // Dep. v VINITI [Dep. in VINITI]. – 14.08.2017. – № 89. – 20 p. [in Russian]
10. Bulanov S.G. Programmnnyj analiz ustojchivosti sistem obyknovennyh differencial'nyh uravnenij na osnove mul'tiplikativnyh preobrazovanij raznostnyh shem i kusochno-polinomial'nyh priblizhenij reshenija [Program analysis of stability of ordinary differential equations systems on the basis of multiplicative transformations of difference schemes and piecewise polynomial approximations of the solution] / S.G. Bulanov, G.A. Dzhannunts // Promyshlennye ASU i kontroly [Industrial Automatic Control Systems and Controllers]. – 2015. – № 2. – P. 10–20. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.003>**ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДВУМЯ СТАНЦИЯМИ В СЕТИ WI-FI**
Научная статья**Глушаков В.Е.***

ORCID: 0000-0002-4235-2931,

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

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

Аннотация

Данная статья посвящена исследованию трех математических моделей для сети Wi-Fi. Сеть состоит из двух сетевых устройств, которые отправляют информацию на другие сетевые устройства и используют один беспроводной канал связи с точкой доступа. При моделировании рассматривается одноканальная система массового обслуживания с ожиданием.

Математические модели описывают процесс передачи одного пакета двумя станциями и позволяют оценить возможное время доставки в зависимости от различных параметров.

Представленные результаты могут быть использованы разработчиками различных технологий, связанных с передачей данных по сети Wi-Fi.

Ключевые слова: Wi-Fi, CSMA/CA, Bursting, системы массового обслуживания.

RESEARCH OF VARIOUS MODELS OF DATA TRANSMISSION VIA TWO STATIONS IN A WI-FI NETWORK
Research article**Glushakov V.E.***

ORCID: 0000-0002-4235-2931,

Voronezh State University, Voronezh, Russia

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

Abstract

This article discusses the study of three mathematical models for the Wi-Fi network. The network consists of two network devices that send information to other network devices and use one wireless communication channel with the access point. When modeling, a single-channel queuing system with waiting is considered.

Mathematical models describe the process of transmitting a single packet by two stations and allow for estimating the possible delivery time depending on various parameters.

The presented results can be used by developers of various technologies related to data transmission over a Wi-Fi network.

Keywords: Wi-Fi, CSMA/CA, Bursting, Queuing systems.

Введение

Системы распределенной обработки данных – эффективный механизм решения широкого спектра задач. Такие системы широко применяются при решении вычислительных задач, задач управления, поддержки принятия решений и др., в которых используется режим реального времени. Сдерживающим фактором широкого внедрения данных технологий является то, что частью интерфейсов (например, Ethernet, Wi-Fi, ZigBee, Thread) не поддерживается режим реального времени. Это может приводить к существенным задержкам при обмене информацией и ее потере. Однако исследования показывают, что неопределенность временных характеристик можно существенно уменьшить за счет выбора алгоритмов работы программного обеспечения и расчета режимов функционирования программных модулей распределенных вычислений и обработки информации. Разработка математического и программного обеспечения для таких систем позволит повысить эффективность функционирования и расширить область применения этих систем.

Построению моделей, учитывающих помехи и временные задержки в сети Wi-Fi, посвящены работы [1], [4], [6].

В данной статье из рассматриваемой сети распределенной обработки данных было выделено два сетевых устройства, которые отправляют информацию на другие сетевые устройства и используют один беспроводной канал связи с точкой доступа. Результаты, представленные в [6], обобщены на случай двух пар клиент-сервер: построены модели передачи данных двумя станциями, позволяющие определить необходимые временные и вероятностные характеристики при передаче одного пакета. Заметим, что, в отличие от [6], из рассмотрения исключены модели с возможной неудачной передачей данных с первой попытки. Это объясняется тем, что уже для одной пары клиент-сервер время, найденное для каждой из таких моделей, достаточно сильно отличается от значений практического эксперимента.

Принципы исследования

Рассмотрим сеть, состоящую из двух сетевых устройств, отправляющих информацию на другие сетевые устройства и использующих один беспроводной канал связи с точкой доступа.

При моделировании будем рассматривать одноканальную систему массового обслуживания с ожиданием (очередь M/M/1).

Примем следующие допущения:

- λ_1 и λ_2 – интенсивность генерации пакетов данных от соответствующих станций на передачу сообщений,
- потоки поступления данных и их обработка являются стационарными.

В [1] был рассмотрен простейший пример передачи одного фрагмента двумя станциями, использующий последовательность обмена, представленную на рисунке 1 [7, с. 17] (для стандарта 802.11a).

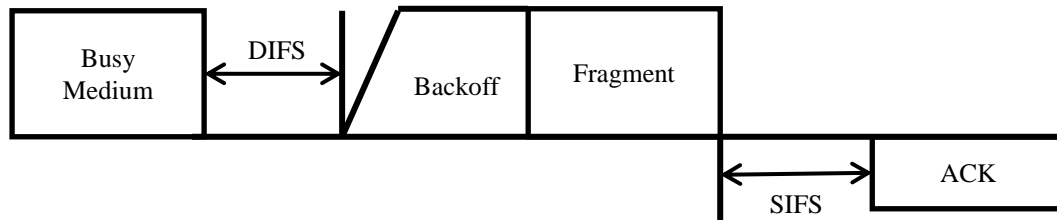


Рис. 1 – Временная диаграмма отправки одного фрагмента одним сетевым устройством

При отправке пакетов каждое из устройств выполняет следующие действия:

- станция оповещает устройство на другом конце, что готова к отправке, а требуемый адресат – к приему данных (под *Busy Medium* понимается контроль несущей);
- убедившись, что канал свободен, перед началом передачи данных станция выжидает в течение определенного промежутка времени, который складывается из двух частей: промежутка *DIFS* и промежутка обратного отсчета *Backoff Time* (*Backoff*), выбираемого случайным образом по определенному алгоритму, описанному в [7, С. 17];
- если в течение всего промежутка ожидания канал остается свободным, то узел начинает передачу кадра данных (*Fragment*);
- между кадром данных (*Fragment*) и его подтверждением (кадр *ACK*) должен быть наименьший из межкадровых интервалов *SIFS*.

Так как одновременно начать передачу по одному и тому же каналу две станции не могут, здесь появляется новое состояние – пауза, во время которой одна из станций ждет, пока другая закончит передачу и освободит канал.

Процесс обмена пакетами будем считать однородным марковским с дискретными состояниями и непрерывным временем. Для расчёта вероятностно-временных характеристик процесса передачи одного пакета двумя станциями для каждой из моделей строится размеченный граф состояний и соответствующая система уравнений Колмогорова. Для оценки времени доставки пакетов первой станцией граф модифицируется таким образом, чтобы состояния, в которых пакет от первой станции был доставлен, стали конечными. Данный подход позволяет учитывать влияние других устройств на передачу данных от выделенного устройства

Модель 1 – передача одного пакета

Этой модели соответствует размеченный граф состояний, представленный на рисунке 2.

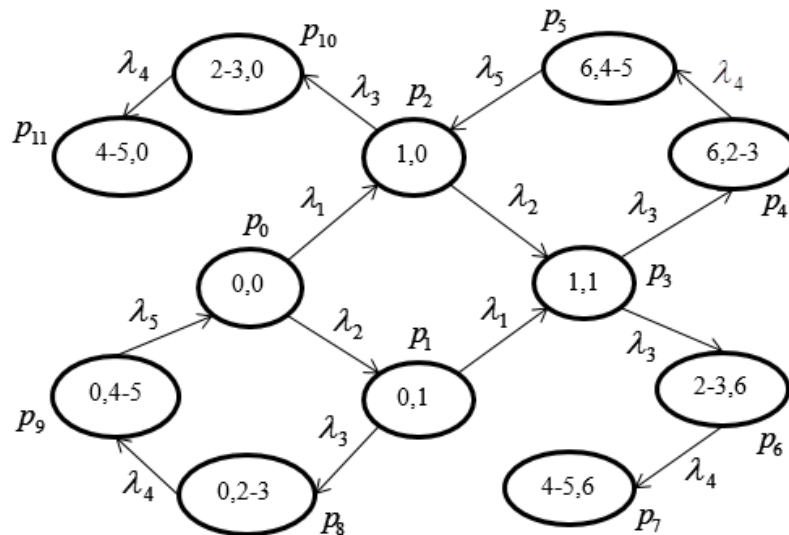


Рис. 2 – Граф состояний для отправки одного пакета двумя станциями

Здесь каждое состояние описывается парой значений, разделенных запятой. Первое значение относится к состояниям для первой станции, а второе – к состояниям для второй. Данные состояния для одной станции были подробно описаны в [6]. Поскольку в дальнейшем они будут применяться и в настоящей статье, опишем их еще раз:

- 0 – начальное состояние (нет пакетов),
- 1 – генерация пакета передающей станцией,
- 2 – передающая станция ждет время *DIFS+Backoff Time*,
- 3 – отправка 1 пакета (фрагмента) с задержкой,
- 4 – передающая станция ждет время *SIFS*,
- 5 – передача пакета подтверждения *ACK* с задержкой принимающей станцией,
- 6 – пауза.

Здесь λ_j – интенсивность обработки информации в каждом из состояний, определяемая как величина, обратная соответствующему времени передачи: $\lambda_j = 1/t_j$ ($j=3,4,5$), $t_3 = t_{DIFS} + t_{BACKOFF} + t_{FRAGMENT} + t_{задержки}$, $t_4 = t_{SIFS} + t_{ACK} + t_{задержки}$, $t_5 = t_{DIFS}$.

Модель 2 – циклическая отправка пакетов

Для этой модели соответствующий размеченный граф состояний изображен на рисунке 3.

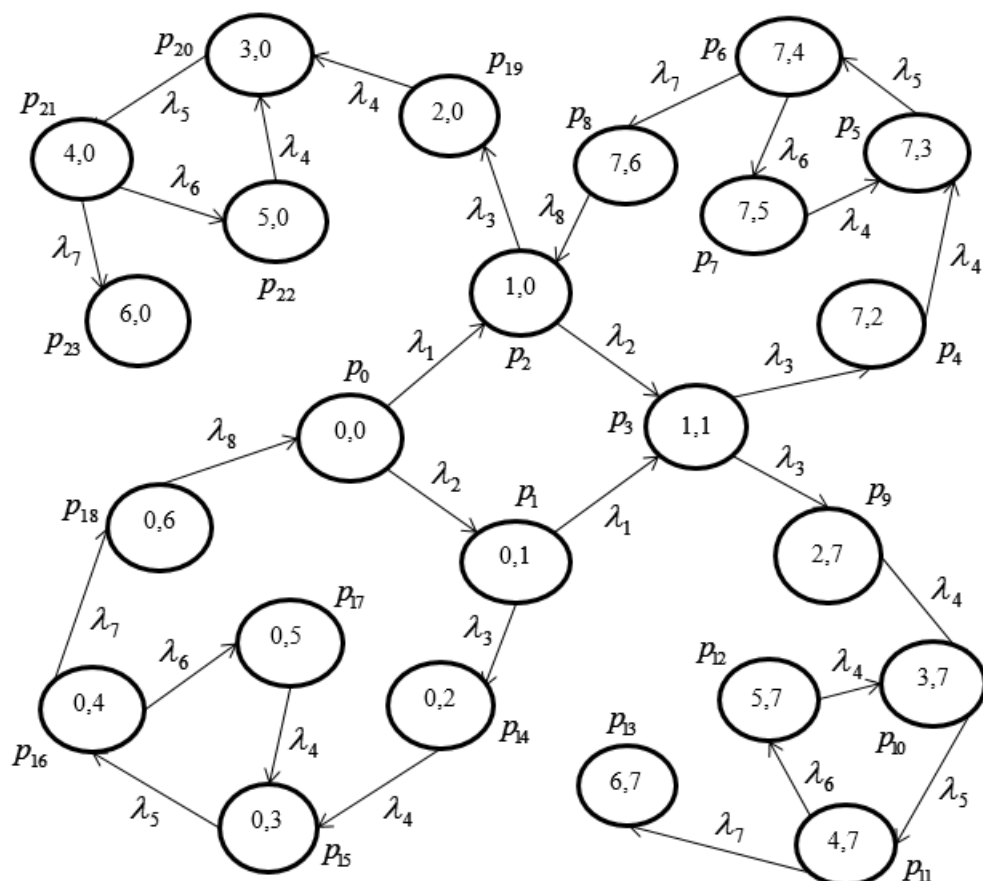


Рис. 3 – Граф состояний для циклической передачи одного фрагмента двумя станциями

К состояниям 0-4 для графа на рисунке 2 добавлены следующие состояния:

5 – передача пакета подтверждения ACK с задержкой принимающей станцией, передающая станция ждет промежуток SIFS,

6 – передача пакета подтверждения ACK с задержкой принимающей станцией,

7 – пауза.

Здесь $\lambda_j = 1/t_j$ ($j=3,...,8$), $t_3 = t_{DIFS} + t_{BACKOFF}$, $t_4 = t_{FRAGMENT} + t_{задержки}$, $t_5 = t_{SIFS}$, $t_6 = t_{ACK} + t_{задержки} + t_{SIFS}$, $t_7 = t_{ACK} + t_{задержки}$, $t_8 = t_{DIFS}$.

Модель 3 – последовательная передача n пакетов

Для последовательной передачи n пакетов используется режим *Bursting*, описанный в [8], [9]. В этом случае размеченный граф состояний имеет вид, представленный на рисунке 4.

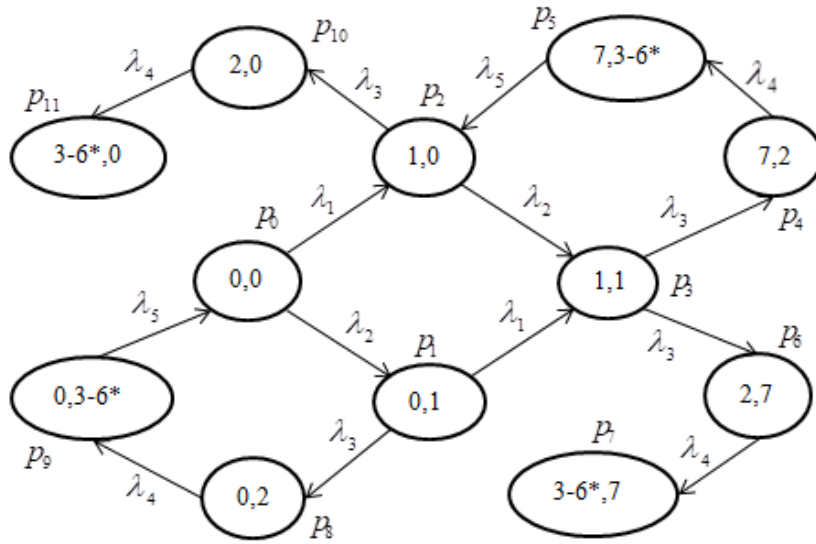


Рис. 4 – Граф состояний для последовательной передачи n пакетов в режиме *Bursting* двумя станциями

Состояния

0-5 совпадают с состояниями для графа, изображенного на рисунке 2,

6 – передающая станция ждет промежуток *SIFS*,

7 – пауза.

Обозначение 3-6* означает, что состояния 3-5 повторяются n раз, а состояние 6 – $(n-1)$, так как в последнем блоке *FRAGMENT-SIFS-ACK-SIFS* наименьший межкадровый интервал *SIFS* заменяется на *DIFS* [6, с.65].

Здесь $\lambda_j = 1/t_j$ ($j = 3, 4, 5$), $t_3 = t_{DIFS} + t_{BACKOFF}$, $t_4 = n \cdot (2 \cdot t_{SIFS} + t_{FRAGMENT} + t_{ACK}) - t_{SIFS}$, $t_5 = t_{DIFS}$.

Метод решения

Для нахождения предельных вероятностей состояний системы и закона распределения времени передачи информации построим систему уравнений Колмогорова для графа из модели 1:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dp_0}{dt} = \lambda_5 p_9 - \lambda_1 p_0 - \lambda_2 p_0, \\ \frac{dp_1}{dt} = \lambda_2 p_0 - \lambda_1 p_1 - \lambda_3 p_1, \\ \frac{dp_2}{dt} = \lambda_1 p_0 + \lambda_5 p_5 - \lambda_2 p_2 - \lambda_3 p_2, \\ \frac{dp_3}{dt} = \lambda_1 p_1 + \lambda_2 p_2 - \lambda_3 p_3 - \lambda_3 p_3, \\ \frac{dp_4}{dt} = \lambda_3 p_3 - \lambda_4 p_4, \\ \frac{dp_5}{dt} = \lambda_4 p_4 - \lambda_5 p_5, \\ \frac{dp_6}{dt} = \lambda_3 p_3 - \lambda_4 p_6, \\ \frac{dp_7}{dt} = \lambda_4 p_6 + \lambda_4 p_{10}, \\ \frac{dp_8}{dt} = \lambda_3 p_1 - \lambda_4 p_8, \\ \frac{dp_9}{dt} = \lambda_4 p_8 - \lambda_5 p_9, \\ \frac{dp_{10}}{dt} = \lambda_3 p_2 - \lambda_4 p_{10} \end{array} \right.$$

с начальными условиями

$$\begin{cases} p_0(0) = 1, \\ p_i(0) = 0 \quad i = 1, \dots, 10. \end{cases}$$

Для данной модели плотность распределения вероятностей времени доставки одного пакета первой станцией будет определяться формулой [10, С. 175]:

$$F(t) = \lambda_4(p_6 + p_{10}).$$

Для двух других моделей рассуждения проводятся аналогично.

Основные результаты и их обсуждение

В настоящей статье для всех трех моделей были взяты значения из стандарта IEEE 802.11a: $t_{SLOT_TIMER} = 9$ мкс, $t_{SIFS} = 16$ мкс, $t_{DIFS} = t_{SIFS} + 2t_{SLOT_TIMER} = 34$ мкс, $t_{ACK_Timeout} = 100$ мкс, $t_{BACKOFF} = d \cdot t_{SLOT_TIMER}$, где $d = 1$ в случае минимальных временных затрат и $d = 31$ – в случае максимальных, размер фрейма ACK – 14 байт, размер передаваемых пакетов (фреймов) $FRAGMENT_i = 700$ байт. Скорость передачи данных $K = 100$ Мбит/с. Решения систем находились численно на отрезке $[0; 0.04]$ с числом отрезков разбиения $N = 2000$. Время задержки $t_{задержки}$ принимает значения 0 мкс и 125 мкс.

Для численного решения применялся программный математический пакет Maple 13 и метод Рунге-Кутты-Фелберга 4-5 порядков.

Чтобы экспериментально подтвердить (или опровергнуть) численные данные, полученные для каждой из трех моделей, в одной из аудиторий Воронежского госуниверситета, находящейся в подвале, была измерена реальная скорость передачи пакетов. Замеры были сделаны для интенсивности отправки пакетов от 200 п/с до 1000 п/с. Для каждого значения интенсивностей была проведена серия экспериментов. В случае, когда значения интенсивностей для двух серверов совпадали, было проведено по 4 измерения, когда отличались – по 2. Компьютеры (серверы) соединялись сетевым проводом Ethernet с двухдиапазонным Wi-Fi роутером Tp-Link Archer C20 AC750 (частота 5 ГГц), ноутбуки (клиенты) – с помощью Wi-Fi. Расстояние между компьютерами и ноутбуками составляло 3 м и располагались они в 1 м от пола. Никаких препятствий между ними не было. Захват трафика производился на ноутбуках с помощью программы EtheRGen.

Для обработки данных, полученных в ходе практического эксперимента, были построены гистограммы, использующие значения первого эксперимента из серии для совпадающих интенсивностей. Чтобы изображения были более детализированными, число интервалов разбиения взято равным 100. Для каждого случая вычислялись математические ожидания, значения которых принимались в качестве реального времени. Полученные данные были занесены в таблицы 1-2.

В таблице 1, кроме того, приведены значения времени доставки пакетов при разной загрузке канала для практического эксперимента и первых 2-х моделей. Первое значение – минимальное, для $d = 1$, $t_{задержки} = 0$, второе – максимальное, для $d = 31$, $t_{задержки} = 125$.

Таблица 1 – Реальное и ожидаемое время получения пакета первой станцией при одинаковой загрузке канала для моделей 1-2

	Скорость передачи информации				
	200 п/с	400 п/с	600 п/с	800 п/с	1000 п/с
Эксперимент	0,000512391 0,000505661 0,000495755 0,000504935	0,000519872 0,000529879 0,0001433070,00 0148768	0,000555901 0,000576608 0,000547514 0,000555257	0,001171676 0,000975689 0,000870926 0,000216090	0,001262933 0,001289619 0,001015974 0,001020782
1 модель	0,00514689– 0,00577358	0,00266274– 0,00328691	0,00182864– 0,00244775	0,00141126– 0,00202716	0,00116061– 0,00177451
2 модель	0,00520736– 0,00626632	0,00272484– 0,00378321	0,00189067– 0,00293387	0,00147320– 0,00250483	0,00122241– 0,00224526

Очевидно, что при малой и средней загрузке сети (200-600 п/с) модельные данные и данные практического эксперимента очень сильно отличаются, причем, чем меньше загрузка сети, тем отличия существеннее. А это означает, что ни одна из первых двух моделей при малой и средней загрузке сети не описывает процесс передачи данных гетерогенной сетью достаточно точно, как и в [6].

При интенсивности отправки 800 п/с значения практического эксперимента достаточно близки к модельным значениям, а при интенсивности 1000 п/с фактически совпадают с ними, особенно для модели 1.

Из таблицы 1 видно, что для интенсивности отправки пакетов 400 п/с временные значения в эксперименте отличаются между собой более чем в 3,5 раза, а для 800 п/с – более чем в 4,5 раза, хотя для интенсивностей 200 п/с, 600 п/с и 1000 п/с значения, вычисленные для практического эксперимента, достаточно близки. Понимание этого факта требует более тщательного изучения и анализа.

Рассмотрим теперь случаи, когда интенсивность передачи информации первой станцией – 1000 п/с, а для второй станции интенсивность меняется от 200 п/с до 1000 п/с. В таблице 2 для моделей 1-2 приведены значения ожидаемого времени отправки пакетов и реального, полученного в ходе эксперимента.

Таблица 2 – Реальное и ожидаемое время получения пакета первой станцией при разной загрузке канала для моделей 1-2

	Скорость передачи информации				
	1000-200 п/с	1000-400 п/с	1000-600 п/с	1000-800 п/с	1000-1000 п/с
Эксперимент	0,001016160 0,001084478	0,001733770 0,001129731	0,000962167 0,000955379	0,001593383 0,001585532	0,001262933 0,001289619 0,001015974 0,001020782
1 модель	0,00112355– 0,00166906	0,00113329– 0,001700288	0,00114270– 0,00172790	0,00115180– 0,00175249	0,00116061– 0,00177451
2 модель	0,00113942– 0,00626632	0,00116067– 0,00378321	0,00118158– 0,00293387	0,00120216– 0,00250483	0,00122241– 0,00224526

Очевидно, что в этом случае реальное и ожидаемое время получения пакета первой станцией практически совпадают, причем, как и в таблице 1, значения для 1-й модели меньше и ближе к экспериментальным.

Это можно объяснить тем, что непонятно, сколько раз проходится блок *FRAGMENT-SIFS-ACK-SIFS* в модели 2, прежде чем попасть в состояние 7, то есть неясно, сколько пакетов прошло в цикле, что является существенным недостатком 2-й модели.

Для 3-й модели, описывающей процесс передачи информации в режиме *Bursting*, были получены грубые оценки определения времени доставки пакета первой станцией: результаты численного эксперимента для последовательной отправки n пакетов были разделены на n . Полученные значения при разной загрузке сети в случае, когда задержек нет, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Реальное и ожидаемое время получения пакета для модели 3

Скорость (пакетов/с)	Эксперимент	Модель 3		
		Число пакетов n	D	Ожидаемое время
200	0,000512392 0,000505662 0,000495756 0,000504935	15	1	0,000508534
			31	0,000522543
400	0,000519873 0,00052988 0,000143307 0,000148768	8	1	0,00048961
			31	0,000516462
600	0,000555901 0,000576608 0,000547515 0,000555257	5	1	0,000513099
			31	0,00055804
800	0,001171676 0,00097569 0,000870926 0,00021609	2	1	0,000817427
			31	0,000941291
		1	1	0,001362376
			31	0,001630723

Для визуализации результатов, полученных в ходе численной реализации для модели 1, были построены графики плотности распределения вероятностей времени доставки одного пакета первой станцией без задержки (в дальнейшем называемые просто «графики»).

Для удобства сравнения гистограммы были наложены на соответствующие графики. На рисунке 5 интенсивности отправки пакетов совпадают, на рисунке 6 – разные.

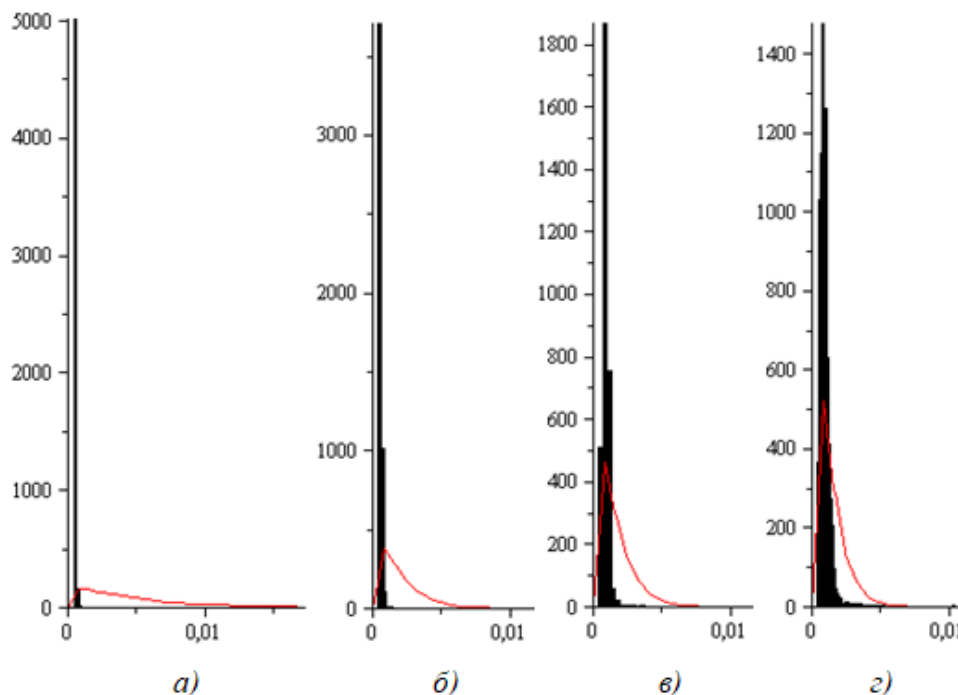


Рис. 5 – Гистограммы и графики для совпадающих значений интенсивностей:

а) $\lambda_1 = \lambda_2 = 200$ п/с; б) $\lambda_1 = \lambda_2 = 600$ п/с; в) $\lambda_1 = \lambda_2 = 800$ п/с; з) $\lambda_1 = \lambda_2 = 1000$ п/с

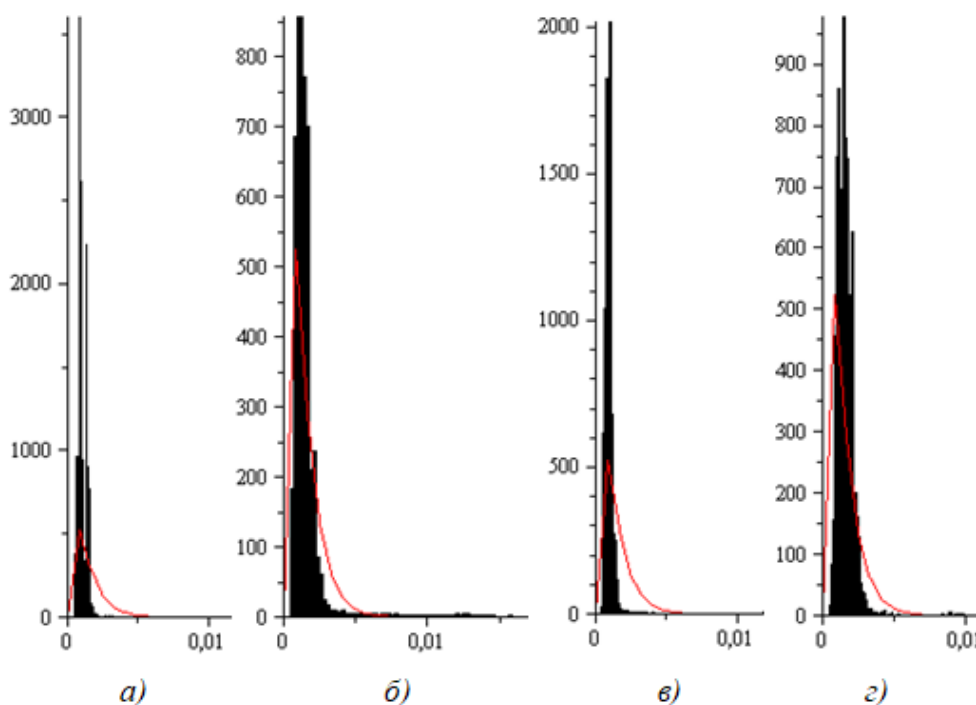


Рис. 6 – Гистограммы и графики для разных значений интенсивностей:

а) $\lambda_1 = 1000, \lambda_2 = 200$ п/с; б) $\lambda_1 = 1000, \lambda_2 = 400$ п/с; в) $\lambda_1 = 1000, \lambda_2 = 600$ п/с; з) $\lambda_1 = 1000, \lambda_2 = 800$ п/с

Заключение

В отличие от одной пары клиент-сервер [6], когда не было конкурентного доступа к сети Wi-Fi и ближайшие модельные значения были больше экспериментальных даже при интенсивности отправки 1000 п/с, в данном случае, когда конкурентный доступ к сети есть, значения практического эксперимента достаточно близки к модельным значениям при интенсивности отправки 800 п/с, а при интенсивности 1000 п/с фактически совпадают с ними, особенно для модели 1. Таким образом, при достаточно больших значениях интенсивности модель 1 достаточно точно описывает процесс передачи данных. А вот для малой и средней интенсивностей эта модель не подходит – передача данных осуществляется в режиме Bursting.

Таким образом, при изменении загрузки каналов происходит изменение режимов передачи данных. А этот факт нуждается в более детальном исследовании и построении обобщенной модели.

Результаты, представленные в настоящей статье, могут заинтересовать разработчиков технологий, в которых применяется режим реального времени и для передачи информации в которых используется Wi-Fi.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / Reference

1. Глушаков В. Е. Исследование подходов к моделированию передачи данных в беспроводных сетях / В. Е. Глушаков // Научный журнал «Globus»: XXX Международная научно-практическая конференция «Достижения и проблемы современной науки» (Санкт-Петербург, 4 мая 2018 г.). – Санкт-Петербург, 2018. – Ч. 1. – С. 48-55.
2. Глушаков В. Е. Исследование зависимости времени доставки информации от числа фрагментов / В. Е. Глушаков // Информационные технологии моделирования и управления. Международный научно-технический журнал. – Воронеж : Научная книга, 2020. – № 2 (120). – С. 130-138.
3. Глушаков В. Е. Исследование модели неудачной передачи информации / В. Е. Глушаков // Современная наука: проблемы, идеи, тенденции : материалы Международной научно-практической конференции 23 июня 2020 года (г. Нефтекамск, Башкортостан). – Нефтекамск : Научно-издательский центр «Мир науки», 2020. – С. 46-53.
4. Глушаков В. Е. Численное моделирование повышения производительности передачи данных в беспроводных сетях / В. Е. Глушаков // Научный альманах. – 2020. – № 4-1 (66). – С. 19-25.
5. Глушаков В. Е. Исследование модели возможной неудачной передачи одного пакета с задержкой в сети Wi-Fi / В. Е. Глушаков // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 5-1 (107). – С. 61-66.
6. Глушаков В. Е. Различные подходы к моделированию передачи данных одной станцией в сети Wi-Fi / В. Е. Глушаков // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 6-1 (108). – С. 64-71.
7. Раздел 7. Локальные беспроводные сети WiFi. Лекции по стандартам. – [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/XKssP> (дата обращения: 3.03.18).
8. Методы увеличения производительности в беспроводных сетях Wi-Fi, часть первая: Bursting, Compression, Fast Frames, Concatenation. – [Электронный ресурс]. URL: https://www.ixbt.com/comm/tech-80211g-super_1.shtml (дата обращения: 20.04.2020).
9. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. – ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition. – 512 p. – [Electronic resource]. URL: <https://www.wardriving.ch/hpneu/info/doku/802.11-1999.pdf> (accessed: 20.04.2020).
10. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения : учеб. пособие для втузов / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – 2-е изд., стер. – Москва : Высшая школа, 2000. – 383 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Glushakov V. E. Issledovanie podhodom k modelirovaniyu peredachi dannyh v besprovodnyh setjakh [Study of approaches to modeling data transmission in wireless networks] / V. E. Glushakov // Nauchnyj zhurnal «Globus»: XXX Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija «Dostizhenija i problemy sovremennoj nauki» (Sankt-Peterburg, 4 maja 2018 g.) [Scientific journal "Globus": XXX International Scientific and Practical Conference "Achievements and Problems of Modern Science" (St. Petersburg, May 4, 2018)]. – Sankt-Peterburg, 2018. – Part 1. – pp. 48-55. [in Russian]
2. Glushakov V. E. Issledovanie zavisimosti vremeni dostavki informacii ot chisla fragmentov [Research on the dependence of information delivery time on the number of fragments] / V. E. Glushakov // Informacionnye tehnologii modelirovaniya i upravlenija. Mezhdunarodnyj nauchno-tehnicheskij zhurnal [Information technologies of modeling and management. International Scientific and Technical Journal]. – Voronezh : Nauchnaja kniga, 2020. – № 2 (120). – pp. 130-138. [in Russian]
3. Glushakov V. E. Issledovanie modeli neudachnoj peredachi informacii [Study of the model of unsuccessful transmission of information] / V. E. Glushakov // Sovremennaja nauka: problemy, idei, tendencii : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskaj konferencii 23 ijunya 2020 goda (g. Neftekamsk, Bashkortostan) [Modern science: problems, ideas, trends: materials of the International Scientific and Practical Conference on June 23, 2020 (Neftekamsk, Bashkortostan)]. – Neftekamsk : Nauchno-izdatel'skij centr «Mir nauki», 2020. – pp. 46-53. [in Russian]
4. Glushakov V. E. Chislennoe modelirovanie povyshenija proizvoditel'nosti peredachi dannyh v besprovodnyh setjakh [Numerical modeling of increasing the performance of data transmission in wireless networks] / V. E. Glushakov // Nauchnyj al'manah [Scientific Almanac]. – 2020. – № 4-1 (66). – pp. 19-25. [in Russian]
5. Glushakov V. E. Issledovanie modeli vozmozhnoj neudachnoj peredachi odnogo paketa s zaderzhkoj v seti Wi-Fi [Study of the model of possible unsuccessful transmission of one packet with a delay in the Wi-Fi network] / V. E. Glushakov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International research journal]. – 2021. – № 5-1 (107). – pp. 61-66. [in Russian]
6. Glushakov V. E. Razlichnye podhody k modelirovaniyu peredachi dannyh odnoj stanciej v seti Wi-Fi [Different approaches to modeling data transmission by one station in a Wi-Fi network] / V. E. Glushakov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International research journal]. – 2021. – № 6-1 (108). – pp. 64-71. [in Russian]
7. Razdel 7. Lokal'nye besprovodnye seti WiFi. Lekcii po standartam [Section 7. Local Wireless Networks WiFi. Lectures on standards]. – [Electronic resource]. URL: <https://clck.ru/XKssP> (accessed: 3.03.18). [in Russian]
8. Metody uvelichenija proizvoditel'nosti v besprovodnyh setjakh Wi-Fi, chast' pervaja: Bursting, Compression, Fast Frames, Concatenation [Methods for increasing performance in wireless Wi-Fi networks, part one: Bursting, Compression, Fast Frames, Concatenation]. – [Electronic resource]. URL: https://www.ixbt.com/comm/tech-80211g-super_1.shtml (accessed: 20.04.2020). [in Russian]
9. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. – ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition. – 512 p. – [Electronic resource]. URL: <https://www.wardriving.ch/hpneu/info/doku/802.11-1999.pdf> (accessed: 20.04.2020).
10. Ventcel' E. S. Teorija sluchajnyh processov i ee inzhenernye prilozhenija : uchebnoe posobie dlja vtuzov [The theory of random processes and its engineering applications : a textbook for knots] / E. S. Ventcel', L. A. Ovcharov. – Moskva : Vysshaja shkola, 2000. – 383 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.004>

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ БАЗЫ, РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ХИМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ, В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

Обзорная статья

Кудрявцев С.С.^{1,*}, Емелин П.В.², Емелина Н.К.³, Кожухова М.М.⁴

¹ ORCID 0000-0002-7232-6304;

^{1,4} Карагандинский технический университет, Караганда, Республика Казахстан;

² Карагандинский экономический университет Казпотребсоюза, Караганда, Республика Казахстан;

³ Высшая школа экономики, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (sk74_07[at]mail.ru)

Аннотация

Целью работы является проведение анализа нормативно-правовой базы в сфере регулирования вопросов чрезвычайных ситуаций, гражданской обороны, безопасности и охраны труда, промышленной безопасности на химически опасных объектах промышленных предприятий Республики Казахстан и стран, достигших существенных успехов в развитии нормативно-правовых актов в данной области и их реализации. Рассмотрен передовой опыт международных организаций и стран-лидеров в сфере промышленной безопасности, который показал необходимость совершенствования системы управления охраной труда и промышленной безопасности за счёт более активного внедрения превентивных мер, в частности – управления рисками. В случае химически опасных объектов профессиональный риск обусловлен физико-химическими и токсикологическими свойствами аварийно химически опасных веществ, их количеством, эксплуатируемым технологическим оборудованием и действиями персонала.

Ключевые слова: химически опасный объект, аварийно химически опасное вещество, законодательство, риск, оценка риска, охрана труда.

WAYS TO IMPROVE THE LEGAL FRAMEWORK REGULATING THE ACTIVITIES OF CHEMICALLY HAZARDOUS FACILITIES IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Review article

Kudryavtsev S.S.^{1,*}, Emelin P.V.², Emelina N.K.³, Kozhukhova M.M.⁴

¹ ORCID 0000-0002-7232-6304;

^{1,4} Karaganda Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan;

² Karaganda University of Kazpotrebooyuz, Karaganda, Republic of Kazakhstan;

³ Higher School of Economics, Moscow, Russia

* Corresponding author (sk74_07[at]mail.ru)

Abstract

The purpose of the article is to analyze the legal framework in the field of regulation of emergency situations, civil defense, occupational safety and health, industrial safety at chemically hazardous facilities of industrial enterprises of the Republic of Kazakhstan and countries that have achieved significant success in the development of regulatory legal acts and their implementation in this area. The authors examine the best practices of international organizations and leading countries in the field of industrial safety, which showed the need to improve the occupational health and industrial safety management system through more active implementation of preventive measures, in particular, risk management. In the case of chemically hazardous objects, the occupational risk is due to the physico-chemical and toxicological properties of emergency chemically hazardous substances, their quantity, the technological equipment used, and the actions of personnel.

Keywords: chemically dangerous object, emergency chemically dangerous substance, legislation, risk, risk assessment, labor protection.

Деятельность химически опасных объектов (ХОО) постоянно связана с появлением различных рисков [1]. Снижение уровня потенциальных и реальных угроз в данной сфере во многом обусловлено качеством соответствующих нормативно-правовых актов, регулирующих различные стороны деятельности ХОО. Изучение и анализ подходов и методов разных стран в области Гражданской обороны, охраны труда и промышленной безопасности позволит выявить основные направления, сильные и слабые стороны законодательства, разработать рекомендации по совершенствованию регулирования, взаимодействию государств, унифицированному подходу к профилактике, локализации и ликвидации на химически опасных объектах чрезвычайных ситуаций (ЧС) и их последствий. Как показывает анализ наиболее эффективных систем управления рисками, в их основе лежит системный подход, направленный на учёт и всесторонний анализ множества факторов, способных повлиять на профессиональные риски.

Вместе с этим следует отметить, что к настоящему времени во многих странах существуют достаточно широкие перечни нормативно-правовых документов, регулирующих различные аспекты деятельности ХОО. Сопоставление и обобщение ключевых правовых аспектов в данной области позволяет выявить как пробелы, так и положительные моменты, которые могут быть учтены как на национальном, так и на международном уровне. В свою очередь, учитывая объём и содержание возможных негативных последствий функционирования ХОО, научный обзор особенностей правового регулирования позволяет выработать пути минимизации профессиональных рисков, в первую очередь, за счёт разработки методики их оценки.

Разработанные Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан (РК) каталоги и паспорта безопасности территорий показывают огромное количество техногенных угроз на территории страны. Согласно

официальному сайту МЧС РК [2], в 2020 г. в Республике Казахстан было зарегистрировано 13258 ЧС техногенного характера. В результате несчастных случаев пострадало 875 работников, ещё 414 погибло.

Анализируя характер развития ЧС, можно сделать вывод, что для большинства их видов представляется возможным унифицировать характеризующие их критерии, и использовать их для определения уровня угроз для предприятий с ХОО.

Заболевания, связанные с трудовой деятельностью, вызывают наибольшее количество смертей среди работников. Согласно последним данным ВОЗ [3], одни только опасные вещества являются причиной 651 279 смертей в год. K.G. Reddy и K. Yarakulla [4] выделили 70 наиболее масштабных химических аварий, произошедших в мире в 1998 – 2015 г. В результате этих аварий был нанесён ущерб здоровью 6417 человек, 2077 человек погибли. При этом авторы отмечают, что наиболее тяжелые последствия характерны для развивающихся стран.

Потенциальная опасность химически опасных объектов во всём мире достаточно высока. Для ЧС на химически опасных объектах характерны особо опасные последствия, с которыми в первую очередь сталкивается их персонал. Так, в 2006 году на Новочебоксарском АО «Химпром» по причине несоблюдения мер безопасности произошел выброс 50 килограммов хлора. Выброс даже такого незначительного количества ядовитого газа стал причиной госпитализации в реанимацию с тяжелым отравлением 13 работников предприятия, тысячи горожан обратились в организации здравоохранения за амбулаторной помощью.

В число предприятий химического риска входят объекты, производящие переработку, использование, транспортировку, обработку, хранение или уничтожение опасных (вредных) веществ. Среди этих предприятий следует отметить высокую долю предприятий, не относящихся к химической промышленности, но использующих аварийно химически опасные вещества (АХОВ) и их производные в технологических процессах.

Опасность ХОО для персонала проявляется и при нормальной регламентированной их работе, поскольку в силу выраженных токсикологических свойств эти вещества могут быть для человека как вредными, так и опасными.

Действующие в сфере охраны труда и промышленной безопасности нормативно-правовые акты образуют сложную многоуровневую систему, устанавливающую главные положения политики государства, регулирующей отношения всех сторон в сфере безопасности производственных процессов.

Акцентирование внимания на вопросы охраны труда и промышленной безопасности, разработка современных высокоэффективных систем управления охраной труда (СУОТ) позволит казахстанским компаниям соответствовать ведущим стандартам, действующим в этой сфере. В статье рассматривается законодательный опыт государств, которые, достигли существенного снижения смертности на рабочем месте [5], [6], [7], при этом, на их территории функционирует большое количество ХОО высокого уровня риска. Кроме того, доля этих стран в глобальном валовом внутреннем продукте имеет наибольшие значения, что свидетельствует об их высоком промышленном потенциале.

Постоянный мониторинг показателей, отражающих состояние промышленной безопасности и охраны труда на предприятии, лежит в основе наиболее эффективных СУОТ, поскольку он позволяет менеджерам, службам охраны труда и уполномоченным органам оперативно реагировать на их изменения. В свою очередь это позволит повысить устойчивость опасных производственных объектов и степень защищенности персонала за счёт реализации стандартных превентивных мероприятий, позволяющих предотвратить ЧС и, как следствие, ущерб жизни и здоровью работников.

В РК трудовые отношения, государственный контроль и надзор в сфере гражданской защиты регулируются в соответствии с Конституцией РК, Законом «О гражданской защите», Трудовым кодексом, и ещё более 200 нормативно-правовыми актами.

Среди мероприятий по созданию безопасных и здоровых условий труда для работающего персонала государственная система гражданской защиты предполагает внедрение и реализацию комплекса мероприятий, проводимых заблаговременно и направленных на максимально возможное уменьшение риска возникновения чрезвычайных ситуаций, а также на сохранение жизни и здоровья людей, снижение размеров материального ущерба.

Государственный контроль и надзор в сфере гражданской защиты осуществляется деятельностью уполномоченных органов в сфере гражданской защиты и в области промышленной безопасности, направленной на обеспечение соблюдения физическими и юридическими лицами требований законодательства Республики Казахстан в сфере гражданской защиты, в пределах их компетенции. Кроме того, уполномоченные органы осуществляют руководство и межотраслевую координацию, разработку и реализацию государственной политики в сфере гражданской защиты в части предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, оказания экстренной медицинской и психологической помощи населению, обеспечения пожарной безопасности и организации Гражданской обороны [8].

С целью поддержания высокого уровня безопасности труда на предприятиях, в том числе имеющих химически опасные объекты, организуется производственный контроль. Согласно «Правил обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов химической отрасли промышленности», производственный контроль в области промышленной безопасности на опасных производственных объектах осуществляют назначенные решением руководителя организации уполномоченные лица и (или) уполномоченное подразделение.

Совместным приказом Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан и Министра национальной экономики Республики Казахстан, а также в соответствии с Предпринимательским Кодексом Республики Казахстан разработаны и утверждены «Критерии оценки степени риска и проверочных листов в области промышленной безопасности». Данные критерии представлены как для общей оценки степени риска в области промышленной безопасности, так и в виде проверочных листов в сфере государственного надзора в области промышленной безопасности в отношении опасных производственных объектов, в том числе и для химически опасных объектов промышленных предприятий [9].

Представленные в документе критерии оценки степени риска, разработаны для особого порядка проведения проверок в области промышленной безопасности.

Критерии оценки степени риска подразделяются на объективные и субъективные. Первые из них позволяют распределить инспектируемые предприятия по степени риска. Вторые – на основании проверочных листов, включающих в себя изучение множества показателей производственной безопасности, позволяют выявить степень её нарушения.

Стоит отметить, что эти критерии носят обобщенный характер и требуют более детального рассмотрения для конкретных ХОО в том числе и с позиции безопасности производственных процессов.

Согласно Указа Президента Республики Казахстан от 27 февраля 2014 года №757 «О кардинальных мерах по улучшению условий для предпринимательской деятельности в Республике Казахстан» необходим переход на организацию проверок на основе оценки рисков [9].

Согласно статье 182 Трудового кодекса РК, работодатель обязан проводить оценку профессионального риска и принимать меры по его минимизации и исключению путем проведения профилактики, замены производственного оборудования и технологических процессов на более безопасные. Проведение оценки рисков осуществляется на основании Приказа Министра труда и социальной защиты населения Республики Казахстан от 11 сентября 2020 года № 363 «Об утверждении Правил управления профессиональными рисками» [10].

Оценка профессиональных рисков состоит из идентификации вредных и опасных факторов, оценки профессиональных рисков и оформления результатов.

Кроме того, «Работодатель обязан проводить с участием представителей работников периодическую, не реже чем один раз в пять лет, аттестацию производственных объектов по условиям труда. Аттестация производственных объектов по условиям труда является пятилетним планом работодателя по безопасности и охране труда, направленным на улучшение условий труда, профилактике профессиональных заболеваний и позволяющим работодателю совершенствовать работу по обеспечению безопасности и охране труда, снижению риска жизни и повреждения здоровья работникам» [10].

Законодательство в области охраны труда и промышленной безопасности является стратегическим инструментом для обеспечения или регулирования государством любой деятельности, связанной с безопасностью работающего персонала на промышленных предприятиях.

Как правило, в каждом государстве существуют на разных правовых уровнях: положения, отраженные в Конституции, в общих законах, уставах, положения, связанные с национальными традициями, регулирующие трудовые отношения, государственный контроль и надзор в сфере охраны труда и промышленной безопасности и обязанности в отношении сохранения и предотвращения ущерба жизни и здоровью граждан.

Так Конституция Индии содержит ряд положений, касающихся прав человека. Статья 14 может использоваться для оспаривания решений, принятых правительством в отношении ведения горных работ, эксплуатации ХОО и других видов деятельности, опасных для жизни и здоровья населения [11].

В Индии существует большой перечень законов и правил в области безопасности и охраны труда. С точки зрения исследуемой проблемы следует выделить Закон «О чрезвычайных ситуациях» (2005 г.), Правила «Производство, хранение и импорт опасных химических веществ» (1989 год), «Подготовка, планирование и реагирование на чрезвычайные ситуации, возникшие в результате химических аварий» (1996 год), «Опасные отходы (управление и руководство)» (1989 год), «Опасные отходы (управление, руководство, трансграничное взаимодействие)» (2008 год), «Государственные политики в области чрезвычайных ситуаций» (2009 год).

В 1972 году, после принятия Закона о промышленной безопасности и охране здоровья (ISH), в Японии было добавлено новое обязательное положение о мониторинге производственной среды [12]. Правительственные бюллетени, касающиеся технических руководств по мониторингу, были введены в 1976 году, а бюллетени по мониторингу - в 1988 году.

Закон о промышленной безопасности и охране здоровья Японии определяет опасные работы, минимальные стандарты и предписывает меры по снижению риска, не относящихся к оцениваемому риску на каждом рабочем месте.

Правительством Японии были опубликованы следующие рекомендации по оценке рисков:

- Рекомендации по оценке рисков;
- Рекомендации по оценке рисков, связанных с химическими веществами;
- Руководящие указания по менеджменту безопасности и гигиены труда;
- Руководство по паспорту безопасности материала (MSDS);
- Руководящие принципы всеобъемлющих стандартов безопасности машинного оборудования;
- Руководство по оценке безопасности химических производств.

В 2003 году Японская ассоциация промышленной безопасности и здоровья начала свою программу аккредитации для СУОТ, особенностью которой является не только оценка, но и предоставление практических советов по дальнейшим улучшениям со стороны инспекторов, а также оценка деятельности руководителей предприятий в области управления здоровьем работников и деятельности по укреплению здоровья [12].

В дальнейшем с учётом важности сохранения порядка в законодательной деятельности и существующей системы инспекций стандартов труда, было принято решение объединить требования и рекомендации в Закон о ISH [13], [15], [17]. Там также было указано на необходимость других видов стимулов для работодателей, включая сокращение взносов по программам компенсационного страхования или сертификации работников.

В соответствии с Законом о трудовых договорах, принятым в Японии в декабре 2007 года, на работодателей был возложен широкий круг обязательств по принятию необходимых мер по обеспечению здоровья и безопасности сотрудников с учетом предсказуемых и предотвратимых рисков.

В Южной Корее в 1987 году было создано Агентство промышленной безопасности и здоровья, целью которого стала разработка стандартов и системы управления, предназначенных для применения в различных отраслях промышленности, в том числе и на химических производствах. В 1996 году была введена система управления

производственной безопасностью (PSM), направленная на продвижение соответствующей политики в области промышленной безопасности и профессионального здоровья [18].

Система PSM состоит из четырех основных элементов, в основе которых лежит оценка риска как наиболее важный ключевой элемент.

В 2012 году в правовой системе Республики Корея появилась новая редакция Закона о промышленной безопасности и гигиене труда, куда были добавлены статьи, связанные с детальной оценкой рисков. Принципы, методы и процедуры оценки риска, также были включены в закон и стали обязательными для исполнения их собственниками опасных производственных объектов. Согласно этой редакции закона, стандартные уведомления включают в себя цели проверок, время оценки, информацию об оценке риска, метод проверки, расчет уровней риска и мероприятия по снижению уровней риска [19].

В настоящее время в Китае принят ряд законов, положений, правил и стандартов по безопасности труда, а также система технических спецификаций «Закона о безопасности производства КНР». Правовая система безопасности труда в Китае разделена на четыре уровня [20]:

– Первый уровень - Конституция КНР.

– Второй уровень – свод законов: Закон КНР «О труде», Закон КНР «О промышленной безопасности», Закон КНР «О профилактике профессиональных заболеваний и борьбе с ними», Закон КНР «О безопасности дорожного движения», Закон КНР «О чрезвычайных ситуациях», Закон КНР «О противопожарном управлении», Закон КНР «О безопасности шахт».

– Третий уровень содержит положения «О реализации Закона КНР о производственной безопасности», «О применении Закона КНР о профилактике профессиональных заболеваний и борьбе с ними», «О реализации Закона КНР о безопасности на шахтах», «О лицензии по охране труда», «О страховании от производственного травматизма», «О надзоре за безопасностью спецтехники», «Постановление, регулирующее отчетность, расследование и урегулирование несчастных случаев», «Административный регламент безопасности строительных объектов».

– Четвёртый уровень охватывает Правила безопасности труда, Национальные стандарты безопасности труда, систему технических спецификаций, каталоги и классификаторы.

В законодательстве США следует выделить законы «О чрезвычайном планировании» и «О праве на жизнь», требующие от компаний раскрывать информацию о токсичных химических веществах, как используемых на производстве, так и утилизируемых.

В настоящее время Управлением по охране труда США разработан широкий спектр стандартов, охватывающих все аспекты охраны труда и промышленной безопасности [21]. Вопросы функционирования ХОО рассмотрены в стандартах, определяющих устройство промышленной вентиляции, обращение с опасными веществами и отходами, эксплуатацию сосудов, работающих под давлением, вопросы эвакуации и аварийного планирования.

В Великобритании в 1974 году был принят «Закон о здоровье и безопасности на рабочем месте» [22] и создано Управление по охране здоровья и безопасности (HSE) в качестве регулирующего органа в области промышленной безопасности и гигиены труда.

Основным принципом британской системы общественного здравоохранения и безопасности является то, что лица или организации, являющиеся источниками риска, должны четко оценить этот риск и обеспечить его снижение «настолько, насколько это разумно осуществимо» с помощью проектных, управленческих и процедурных мер.

Управление по охране здоровья и безопасности регулярно разрабатывает и утверждает общие рекомендации по выполнению оценки рисков и предоставляет утвержденные кодексы практики для отдельных отраслей промышленности, предоставляя более подробные инструкции по управлению общими рисками в них.

Управлением по охране здоровья и безопасности Великобритании было разработано руководство по оценке рисков, в котором обозначены основные этапы:

- 1) Идентификация опасностей, связанных с предприятием (оборудованием), персоналом и технологическими процессами;
- 2) Определение потенциального вреда технологическому оборудованию, персоналу, населению и окружающей среде;
- 3) Определение существующих элементов управления, направленных на минимизацию риска;
- 4) Разработка перечня мероприятий, направленных на дальнейшее снижение риска. Поиск новых элементов управления, назначение сроков их внедрения и ответственных должностных лиц;
- 5) Регулярный и систематический контроль и коррекция вышеуказанных этапов.

Опыт Норвегии является очень важным в связи с высоким уровнем качества стандартов, регулирующим вопросы промышленной и химической безопасности, действующими в этой стране. Так, в 2001 г. в Норвегии был принят стандарт NORSOK Z-013, регулирующий оценку рисков и готовность к ЧС и, в первую очередь, ориентированный на предприятия нефтегазовой и нефтеперерабатывающей отраслей. В данном стандарте анализ последствий аварий включает в себя следующие требования:

- необходимо анализировать по отдельности утечку из каждого сегмента в основном процессе;
- анализ должен включать расчет переходного режима выброса (количество, интенсивность, продолжительность и т.п.);
- анализ должен включать расчет рассеивания выбросов;
- анализ должен включать расчет потенциала воспламенения;
- анализ должен включать расчеты пожарной нагрузки. Интенсивность огня должна соответствовать NORSOK S-001;
- необходимо учитывать эскалацию и / или повреждение несущих конструкций, брандмауэров, разделяющих основные зоны, сосуды и трубопроводы, критически важные для безопасности оборудования, диспетчерской и безопасной зоны;

- анализ должен включать оценку риска взрыва;
- анализ должен включать оценки рассеивания дыма и токсичного газа для рассмотрения доступности путей эвакуации, безопасных зон и средств эвакуации;
- выбросы в окружающую среду должны быть включены в анализ экологических последствий;
- анализ должен включать моделирование процесса развития аварий, отражающих мощность, где отражается надежность и целостность важных барьеров безопасности;
- должны быть представлены промежуточные результаты анализа последствий для улучшения мониторинга процесса оценки и обеспечения возможности сравнения результатов;
- анализ должен основываться на последних доступных инженерных данных для объекта.

В странах Европейского союза создано и действует законодательство Seveso, направленное на предотвращение крупных аварий с опасными веществами. Оно является транснациональным, что подразумевает его имплементацию в национальное законодательство в каждом государстве-члене Европейского союза [23]. Согласно законодательству Seveso, его основной целью является предотвращение и смягчение последствий крупных аварий с опасными веществами. С одной стороны, оно регулирует последствия крупных аварий для окружающей среды, а с другой стороны - защиту сотрудников предприятия и населения, проживающего вблизи ХОО.

С 1 июня 2015 года вступила в силу Директива Seveso III [24], полностью заменившая Директиву Seveso II. Третья редакция гармонизирована с введением в действие CLP («Классификация, маркировка и упаковка химических веществ и смесей»).

В Севезо III появились новые положения относительно инспекций предприятий Севезо [25]. Инспекции должны проводиться в соответствии с планом инспекций на национальном, региональном или местном уровне. Такой план должен содержать географическое указание области его применения и содержать список установок и предприятий. Кроме того, он должен содержать список групп предприятий, для которых может иметь место эффект домино. План также должен содержать общий подход к оценке соответствующих вопросов и процедур безопасности для текущих проверок (запланированных) и внеплановых проверок (незапланированных, например, в результате инцидентов или жалоб). В случае, если на ХОО были выявлены серьезные недостатки, предусмотрена обязательная повторная инспекция в течение 6 месяцев. При этом Севезо III устанавливает минимальную частоту проверок для предприятий Севезо нижнего уровня каждые 3 года. Для предприятий Севезо верхнего уровня в соответствии с предыдущим законодательством Севезо II минимальная частота проверок уже была установлена ежегодно.

Вместе с этим, остается много проблемных вопросов с требованиями Директивы Севезо III, среди которых основными являются человеческий фактор, неспособность обанкротившихся предприятий поддерживать систему безопасности, образование в результате аварий новых токсичных веществ [25]. В качестве примера рассмотрим опыт Бельгии и Нидерландов, поскольку, имея на своей территории большое количество предприятий химического риска и неутешительную статистику аварийности на них, этим странам в течении нескольких десятилетий удалось существенно снизить этот показатель. Не последнюю роль в этом сыграло совершенствование СУОТ.

В Бельгии законодательство Севезо было имплементировано в законодательство в виде Соглашения о сотрудничестве между различными регионами страны. Обязанности по инспекции разделены между регионами и федеральным правительством. Оба эти уровня представлены инспекциями, которые работают и сотрудничают между собой на паритетных условиях и нацелены на выполнение конкретных задач и компетенций.

Для каждого предприятия определены следующие области проверки: установки технологического процесса, эксплуатационный персонал, опасная работа, аварийное планирование, инциденты и аварии, политика предотвращения крупных аварий. Эти области позволяют оценивать ситуацию с безопасностью очень структурированно и системно, используя так называемые «инструменты проверки Seveso» или SIT. SIT - это анкеты, разработанные в сотрудничестве с федеральными и региональными инспекционными службами.

В Нидерландах инспекции ХОО осуществляются представителями инспекции труда, правительственных комиссий, Бюро по опасностям крупных аварий и Совета по безопасности. Этот совет начал свою деятельность в 2005 году как независимая организация, проводящая исследования по безопасности крупных аварий в промышленности и на трубопроводах, объектах здравоохранения, строительстве, авиации, железнодорожном и автомобильном транспорте, вооруженных силах.

В 1999 году в Нидерландах было утверждено постановление Brzo [25]. Оно является единым постановлением, основанным на четырех различных законах и подписанным Министерством инфраструктуры и окружающей среды, Министерством по социальным вопросам и занятости и Министерством юстиции и безопасности. Согласно этому постановлению, контроль опасных производственных объектов в Нидерландах осуществляют три уполномоченных органа: инспекция труда, служба выдачи экологических разрешений и пожарная служба. Инспекция труда делегировала свои задачи подразделению, Группе по контролю за крупными опасностями, сформированному в 2002 году.

На международном уровне действуют международные конвенции и рекомендации Международной организации труда (МОТ), в области защиты трудовых прав человека. Эти международные правовые нормы учитывают практически все вопросы охраны труда, начиная с защиты от отдельных опасных и вредных фактов производственной среды, заканчивая организацией управления охраной труда на предприятиях в целом.

Деятельность МОТ в области условий и охраны труда осуществляется по трем основным направлениям: разработка норм и стандартов, исследование и распространение информации, оказание технической помощи.

Основными мероприятиями по реализации этих направлений являются:

- разработка конвенций и рекомендаций, а также осуществление консультаций и помощи по созданию проектов законодательных актов на национальном уровне по условиям труда;
- создание типовых кодексов правил, кодексов практических действий и инструкций по охране труда и защите от профзаболеваний, гигиене труда;

- подготовка руководящих указаний, методических пособий, публикаций по технической и медицинской инспекции.

Одним из свидетельств успешной реализации Программы сотрудничества между Республикой Казахстан и Международной организацией труда являются успехи Казахстана в приведении национального законодательства в соответствие с международными нормами в сфере труда и укрепление позиций Казахстана в данной международной организации.

Подводя итог, следует отметить, что в течение последних 2–3 десятилетий наблюдается гуманизация как транснациональных нормативно-правовых актов, так и законодательств стран, добившихся успехов в области промышленной безопасности, безопасности ХОО. Это выражается в виде сокращения проверок опасных производственных объектов, причем их необходимость определяется состоянием промышленной безопасности, ответственность за которую в большей степени перекладывается с государства на владельцев предприятий. При этом наиболее актуальной становится оценка всевозможных рисков, связанных с функционированием предприятий. Несмотря на то, что рассмотренные нормативные и правовые акты лишь устанавливают необходимость проведения оценки рисков, они не предлагают конкретных методик по их расчёту. Это делает актуальным научно-исследовательскую работу по созданию подобных методик, первым этапом которой является изучение нормативно-правовой базы.

Заключение

Проведенный анализ существующей нормативной базы в области ЧС, гражданской обороны, безопасности и охраны труда, промышленной безопасности показал, что вопросам охраны труда и промышленной безопасности, обеспечению безопасности, сохранению жизни и здоровья работников уделяется большое внимание. Регулирование данных вопросов осуществляется многоуровневыми разветвленными системами как по вертикали, так и по горизонтали, путём реализации комплекса превентивных мероприятий, нацеленных на предупреждение аварий и несчастных случаев.

Республика Казахстан следует установившимся мировым трендам в сфере регулирования деятельности ХОО, свидетельством чего является как имплементация международных нормативно-правовых актов в законодательство страны, так и разработка собственных с учётом передового мирового опыта.

Для управления безопасностью на промышленных предприятиях необходимо иметь систему оценки рисков по состоянию факторов производственной среды, сопровождающих определенный вид деятельности. Производственная деятельность неизбежно сопровождается риском, управление которым является приоритетной задачей производственного контроля и системы управления охраной труда.

Финансирование

Статья написана в рамках реализации гранта Министерства образования и науки Республики Казахстан AP09259869.

Funding

The article was written as part of the implementation of the grant of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan AP09259869.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Yemelin P.V. The methodological approach to environmental risk assessment from man-made emergencies at chemically hazardous sites / P.V. Yemelin, S.S. Kudryavtsev, N.K. Yemelina // Environmental Engineering Research. – 2021. – № 4. – P. 100 – 111.
2. Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан. Обзорная информация о чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера, происшедших на территории республики за 2020 год [Электронный ресурс] - 2021. - URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer/documents/details/115859?lang=ru> (дата обращения: 23.07.2021).
3. International Health Organization. World statistic [Electronic resource] – 2021. – URL: https://www.ilo.org/moscow/areas-of-work/occupational-safety-and-health/WCMS_249278/lang--en/index.htm (assessed: 07.06.2021).
4. Reddy K.G. Analysis of accidents in chemical process industries in the period 1998-2015 / K.G. Reddy, K. Yarakulla // International Journal of ChemTech Research. - 2016. – № 4. - P. 177-191.
5. International Labour Organization. Statistics on safety and health at work [Electronic resource] – 2021. – URL: <https://ilostat.ilo.org/topics/safety-and-health-at-work/> (assessed: 23.07.2021).
6. Health and Safety Executive. Health and Safety statistics in the United Kingdom, 2020. Comparison with European countries / Health and Safety Executive. - London: HSE, 2020. – 9 p.
7. Lees F.P. Loss Prevention in the Process Industries. Vol. 1. 2-nd edition / F.P. Lees. – Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 1996., - 1276 p.
8. Министерство по инвестициям и развитию Республики Казахстан, Министерство национальной экономики Республики Казахстан. Совместный приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 15.12.2015 № 1206 и Министра национальной экономики Республики Казахстан от 28.12.2015 № 814 «Об утверждении критериев оценки степени риска и проверочных листов в области пожарной безопасности и гражданской обороны» [Электронный ресурс] - 2015. - URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500012687> (дата обращения: 06.07.2021).

9. Президент Республики Казахстан. Указ «О кардинальных мерах по улучшению условий для предпринимательской деятельности в Республике Казахстан» от 27.02.2014 №757 [Электронный ресурс] - 2014. - URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/U1400000757> (дата обращения: 06.07.2021).
10. Республика Казахстан. Трудовой кодекс (2015). Трудовой кодекс Республики Казахстан [Электронный ресурс] - 2015. - URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/K1500000414> (дата обращения: 06.07.2021).
11. Gupta A. K. Environmental legislation for disaster risk management / A. K. Gupta, S. S. Nair, S. Singh. - New Dehli: National Institute of Disaster Management & Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit GmbH, 2013. - 108 p.
12. Horie S. Occupational health policies on risk assessment in Japan / S. Horie // Safety and Health at Work. – 2010. – № 1. - P. 19 – 28.
13. Molyneux M.K. An organized approach to the control of hazards to health at work / M.K. Molyneux, H.G. Wilson // Annals of Occupational Hygiene. – 1990. - Vol. 34. - P. 177 – 188.
14. Raworth P. Regional harmonization of occupational health rules: the European example / P. Raworth // American Journal of Law Medicine. – 1995. - Vol. 21. – P. 7-44.
15. Russell R.M. An introduction to a UK scheme to help small firms control health risks from chemicals / R.M. Russell, S.C. Maidment, I. Brooke and others // Annals of Occupational Hygiene. – 1998. - Vol. 42. - P. 367 – 376.
16. Money C.D. European experiences in the development of approaches for the successful control of workplace health risks / C.D. Money // Annals of Occupational Hygiene. – 2003. - Vol. 47. - P. 533 – 540.
17. Rogers M.D. The European Commission's White Paper «strategy for a future chemicals policy»: a review / M.D. Rogers // Risk Analysis. – 2003. – Vol. 23. – P. 381 - 388.
18. Kwon H. Advanced Korean industrial safety and health policy with risk assessment / H. Kwon, J.H. Cho, I. Moon and others // Safety and Health at Work. – 2010. – № 1. - P. 29 – 36.
19. Shin K. In-house contractors' exposure to risks and determinants of industrial accidents; with focus on companies handling hazardous chemicals / K. Shin // Safety and Health at Work. – 2021. – № 2. - P. 261 – 267.
20. Wang B. Work safety in China's Thirteenth Five-Year plan period (2016–2020): Current status, new challenges and future tasks / B. Wang, Ch. Wua, L. Kang and others // Safety Science. – 2018. - Vol. 104. – P. 164-178.
21. Occupational Safety and Health Administration. Regulations (Standards - 29 CFR) [Electronic resource] – 2021. – URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910> (assessed: 23.07.2021).
22. Russ K. Risk assessment in the UK Health and Safety System: Theory and Practice / K. Russ // Safety and Health at Work. – 2010. – № 1. - P. 11 – 18.
23. Swuste P. Seveso inspections in the European low countries history, implementation, and effectiveness of the European Seveso directives in Belgium and the Netherlands / P. Swuste, G. Reniers // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2017. – Vol. 49. – P. 68 – 77.
24. European Parliament and Council. Seveso 2012/18/EU, Directive 2012/18/EU on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC [Electronic resource] – 2012. - URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32012L0018&from=EN#d1e32-19-1> (assessed: 05.05.2021).
25. Jain P. Did we learn about risk control since Seveso? Yes, we surely did, but is it enough? An historical brief and problem analysis / P. Jain, H.J. Pasman, S.P. Waldrum // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2017. – Vol. 49. – P. 5 – 17.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Yemelin P.V. The methodological approach to environmental risk assessment from man-made emergencies at chemically hazardous sites / P.V. Yemelin, S.S. Kudryavtsev, N.K. Yemelina // Environmental Engineering Research. – 2021. – № 4. – P. 100 – 111. (Article in press).
2. Ministerstvo po chrezvychajnym situacijam Respubliki Kazahstan. Obzornaja informacija o chrezvychajnyh situacijah prirodnogo i tehnogennogo haraktera, proisshehdshih na territorii respubliky za 2020 god [Overview information on emergencies of natural and man-made character that occurred on the territory of the republic for 2020] [Electronic resource] - 2021. - URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer/documents/details/115859?lang=ru> (assessed: 23.07.2021). [in Russian]
3. International Health Organization. World statistic [Electronic resource] – 2021. – URL: https://www.ilo.org/moscow/areas-of-work/occupational-safety-and-health/WCMS_249278/lang--en/index.htm (assessed: 07.06.2021).
4. Reddy K.G. Analysis of accidents in chemical process industries in the period 1998-2015 / K.G. Reddy, K. Yarakulla // International Journal of ChemTech Research. - 2016. – № 4. - P. 177-191.
5. International Labour Organization. Statistics on safety and health at work [Electronic resource] – 2021. – URL: <https://ilostat.ilo.org/topics/safety-and-health-at-work/> (assessed: 23.07.2021).
6. Health and Safety Executive. Health and Safety statistics in the United Kingdom, 2020. Comparison with European countries / Health and Safety Executive. - London: HSE, 2020. – 9 p.
7. Lees F.P. Loss Prevention in the Process Industries. Vol. 1. 2-nd edition / F.P. Lees. – Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 1996., - 1276 p.
8. Ministerstvo po investicijam i razvitiju Respubliki Kazahstan, Ministerstvo nacional'noj jekonomiki Respubliki Kazahstan. Sovmestnyj prikaz Ministra po investicijam i razvitiju Respubliki Kazahstan ot 15.12.2015 № 1206 i Ministra nacional'noj jekonomiki Respubliki Kazahstan ot 28.12.2015 № 814 «Ob utverzhdenii kriteriev ocenki stepeni riska i proverochnyh listov v oblasti pozharnoj bezopasnosti i grazhdanskoj oborony» [Joint Order of the Minister for Investment and Development of the Republic of Kazakhstan dated December 15, 2015 No. 1206 and the Minister of National Economy of the Republic of Kazakhstan dated December 28, 2015 No. 814 «On approval of the risk assessment criteria and checklists in the field of fire safety and civil defense»] [Electronic resource] - 2015. - URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500012687> (assessed: 07.06.2021). [in Russian]

9. Prezident Respubliki Kazahstan. Ukaz «O kardinal'nyh merah po uluchsheniju uslovij dlja predprinimatel'skoj dejatel'nosti v Respublike Kazahstan» ot 27.02.2014 №757 [Decree «On cardinal measures to improve conditions for entrepreneurial activity in the Republic of Kazakhstan» dated February 27, 2014 No. 757] [Electronic resource] - 2014. - URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/U1400000757> (assessed: 07.06.2021). [in Russian]
10. Respublika Kazahstan. Trudovoj kodeks (2015). Trudovoj kodeks Respubliki Kazahstan [Labor Code (2015). Labor Code of the Republic of Kazakhstan] [Electronic resource] - 2015. - URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/K1500000414> (assessed: 07.06.2021). [in Russian]
11. Gupta A. K. Environmental legislation for disaster risk management / A. K. Gupta, S. S. Nair, S. Singh. - New Dehli: National Institute of Disaster Management & Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit GmbH, 2013. - 108 p.
12. Horie S. Occupational health policies on risk assessment in Japan / S. Horie // Safety and Health at Work. – 2010. – № 1. - P. 19 – 28.
13. Molyneux M.K. An organized approach to the control of hazards to health at work / M.K. Molyneux, H.G. Wilson // Annals of Occupational Hygiene. – 1990. - Vol. 34. - P. 177 – 188.
14. Raworth P. Regional harmonization of occupational health rules: the European example / P. Raworth // American Journal of Law Medicine. – 1995. - Vol. 21. – P. 7-44.
15. Russell R.M. An introduction to a UK scheme to help small firms control health risks from chemicals / R.M. Russell, S.C. Maidment, I. Brooke et al. // Annals of Occupational Hygiene. – 1998. - Vol. 42. - P. 367 – 376.
16. Money C.D. European experiences in the development of approaches for the successful control of workplace health risks / C.D. Money // Annals of Occupational Hygiene. – 2003. - Vol. 47. - P. 533 – 540.
17. Rogers M.D. The European Commission's White Paper «strategy for a future chemicals policy»: a review / M.D. Rogers // Risk Analysis. – 2003. – Vol. 23. – P. 381 - 388.
18. Kwon H. Advanced Korean industrial safety and health policy with risk assessment / H. Kwon, J.H. Cho, I. Moon et al. // Safety and Health at Work. – 2010. – № 1. - P. 29 – 36.
19. Shin K. In-house contractors' exposure to risks and determinants of industrial accidents; with focus on companies handling hazardous chemicals / K. Shin // Safety and Health at Work – 2021. – № 2. - P. 261 – 267.
20. Wang B. Work safety in China's Thirteenth Five-Year plan period (2016–2020): Current status, new challenges and future tasks / B. Wang, Ch. Wua, L. Kang et al. // Safety Science. – 2018. - Vol. 104. – P. 164-178.
21. Occupational Safety and Health Administration. Regulations (Standards - 29 CFR) [Electronic resource] – 2021. – URL: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910> (assessed: 23.07.2021).
22. Russ K. Risk assessment in the UK Health and Safety System: Theory and Practice / K. Russ // Safety and Health at Work. – 2010. – № 1. - P. 11 – 18.
23. Swuste P., Reniers G. Seveso inspections in the European low countries history, implementation, and effectiveness of the European Seveso directives in Belgium and the Netherlands / P. Swuste, G. Reniers // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2017. – Vol. 49. – P. 68 – 77.
24. European Parliament and Council. Seveso 2012/18/EU, Directive 2012/18/EU on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC [Electronic resource] – 2012. - URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32012L0018&from=EN#d1e32-19-1> (assessed: 05.05.2021).
25. Jain P. Did we learn about risk control since Seveso? Yes, we surely did, but is it enough? An historical brief and problem analysis / P. Jain, H.J. Pasman, S.P. Waldram // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2017. – Vol. 49. – P. 5 – 17.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.005>**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ**

Научная статья

Петров Ю.С.¹, Музаев А.К.², *^{1, 2} Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет),
Владикавказ, Россия

* Корреспондирующий автор (alexandr.muzaev[at]mail.ru)

Аннотация

Приводятся математические модели автономной электрической системы использования преобразователей ВИЭ для энергоснабжения индивидуальных объектов: детерминированная и вероятностная, представляющие собой матричные уравнения электрического состояния эквивалентных электрических цепей соответственно с постоянными и случайными параметрами. Дается алгоритм анализа вероятностной модели. Применение предложенных моделей позволит аналитически выполнять всесторонний анализ систем автономного электроснабжения потребителей от ВИЭ, делать обоснованные прогнозы энергетического состояния системы, разрабатывать конкретные мероприятия по обеспечению устойчивой её работы.

Ключевые слова: энергоснабжение; математические модели; детерминированная модель; вероятностная модель; автономная электрическая система; возобновляемые источники энергии; устойчивость.

MATHEMATICAL MODELS OF AN ELECTRIC SYSTEM FOR THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY OF FACILITIES

Research article

Petrov Yu.S.¹, Muzaev A.K.², *^{1, 2} North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia

* Corresponding author (alexandr.muzaev[at]mail.ru)

Abstract

The current article presents mathematical models of an autonomous electrical system for the use of renewable energy converters for the power supply of individual objects: deterministic and probabilistic, which are matrix equations of the electrical state of equivalent electrical circuits in correspondence with constant and random parameters. The article provides an algorithm for analyzing a probabilistic model. The application of the proposed models will allow for analytically performing a comprehensive analysis of autonomous power supply systems for consumers from renewable energy sources, making reasonable forecasts of the energy state of the system, developing specific measures to ensure its stable operation.

Keywords: energy supply; mathematical models; deterministic model; probabilistic model; autonomous electric system; renewable energy sources; sustainability.

В настоящее время возобновляемые источники энергии находят всё более широкое применение, в частности, для автономного энергоснабжения индивидуальных объектов [1], [2], [3]. Общей теории электрических систем такого типа в настоящее время не существует, что затрудняет их анализ и практические расчёты.

Далее приводится математическая модель электрической системы автономного энергоснабжения индивидуальных объектов на основе использования ВИЭ. Построение модели основано на применении законов электрических цепей к анализу электрических процессов в автономной системе, состоящей из преобразователей возобновляемой энергии (ветро-, гидро-, гелиогенераторов и т.п.) и индивидуальных потребителей [4], [5], [6]. Электрическая связь между генераторами и потребителями определяется практическими задачами и может представлять собой сложную взаимосвязанную электрическую систему.

Для построения математической модели выделяются два типа наиболее часто встречающихся на практике задач анализа:

1) определение реакции (принуждённого режима) электрической цепи общего вида, содержащей активные и реактивные линейные элементы, при действии в цепи источников энергии, описываемых в обобщённой форме [7], например, ЭДС источника может быть представлена в обобщённой форме:

$$E(s) = \dot{E}_m \cdot e^{\omega t} \quad (1)$$

где \dot{E}_m – комплексная амплитуда, а $s = \sigma + j\omega$ – комплексная частота;

2) определение реакции резистивной цепи (или цепи, условно представленной как резистивная) при действии в ней источников энергии произвольного типа, описываемых соответствующими аналитическими выражениями.

Уравнение состояния электрической цепи, эквивалентной системе использования преобразователей ВИЭ, т.е. соответствующих генераторов и нагрузки, т.е. индивидуальных потребителей, можно записать, используя непосредственно законы Кирхгофа и комбинированную матрицу, состоящую из элементов узловой и контурной матриц цепи.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \\ b_{n+1,1} & b_{n+1,2} & \dots & b_{n+1,m} \\ b_{n+1,1} & b_{n+2,2} & \dots & b_{n+2,m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n+q,1} & b_{n+q,2} & \dots & b_{n+q,m} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \dots \\ i_n \\ i_{n+1} \\ i_{n+2} \\ \dots \\ i_{n+q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_n \\ F_{n+1} \\ F_{n+2} \\ \dots \\ F_{n+q} \end{bmatrix} \quad (2)$$

где n – уменьшенное на единицу число узлов;

q – число независимых контуров

$(n + q) = m$ – число ветвей (токов)

В матричном уравнении (1) $a_{11}, a_{12} \dots a_{nm}$ представляют собой элементы $(0, \pm 1)$ узловой матрицы, а коэффициенты $b_{n+1,1}, b_{n+1,2} \dots b_{n+q,m}$ – элементы контурной матрицы, которые принимают конкретные значения для каждой схемы и соответствующего типа воздействия.

В сокращённом виде уравнение (1) запишем как

$$[A] [I] \approx [F] \quad (3)$$

Матрица $[I]$ в уравнении (3) представляет собой матрицу-столбец неизвестных токов, а матрица $[F]$ – матрицу-столбец, заданных воздействий (источников токов возобновляемой энергии и источников ЭДС), соответствующих генератором.

Для определения токов ветвей необходимо решить матричное уравнение (2), для чего обе части уравнения следует умножить слева на обратную матрицу $[A]^{-1}$:

$$[A]^{-1} [A] [I] = [A]^{-1} [F] \quad (4)$$

откуда

$$[I] = [A]^{-1} [F] \quad (5)$$

Из (5) определяются все токи ветвей схемы.

Если воспользоваться формальным представлением источников энергии в виде обобщённого экспоненциального возмущения (1), то уравнение (3) примет вид:

$$[A(s)] [I(s)] = [F(s)] \quad (6)$$

Уравнение (6) является общим для различных типов воздействия. Учитывая, что формуле (1) $\dot{E}_m = E_m e^{j\psi}$, можно получить различные частные случаи воздействующих ЭДС, придавая различные значения входящим в общее выражение параметрам. Например, в случае синусоидальной ЭДС следует принять $\sigma = 0$, $s = j\omega$, принуждённый (установившийся) ток также будет изменяться по синусоидальному закону. Если ЭДС есть экспоненциальная функция, то $\psi = 0$, $s = \sigma$, $E_m = E$; принуждённый ток также будет изменяться по экспоненциальному закону. В соответствии с типом воздействия будет изменяться и вид сопротивлений в цепи.

В общем случае матрица $[A(s)]$ содержит обобщённое комплексное сопротивление $Z(s)$, которое для k -ой ветви выражается формулой:

$$Z_k(s) = R_k + s L_k + \frac{1}{s C_k} \quad (7)$$

Для решения уравнения (6) применяется обычная алгебра с переменной s . Однако для анализа конкретных типов воздействия необходимо использовать частные выражения $Z_k(s)$. Например, для постоянного тока $s = 0$, сопротивления с индуктивностью закорачиваются, сопротивления с ёмкостью разрываються и $Z(s)$ заменяется активным сопротивлением R .

Для экспоненциального воздействия $\sigma \neq 0$, $\omega = 0$ сопротивление $Z_k(s)$ преобразуется в полное сопротивление ветви Z_σ для экспоненциального тока:

$$Z_\sigma = Z(\sigma) = R + \sigma L + \frac{1}{\sigma C} \quad (8)$$

При воздействии экспоненциальных ЭДС расчёт не будет содержать комплексных чисел, а будет основан на использовании показателя степени экспоненты σ .

Для синусоидального тока n -ой гармоники $\sigma = 0$ и расчёт ведётся с использованием комплексного сопротивления n -ой гармоники:

$$Z_n = R + jn\omega L + \frac{1}{jn\omega C} \quad (9)$$

В случае воздействия синусоидальной ЭДС с изменяющейся по экспоненте амплитудой расчёт ведётся с использованием обобщённого комплексного сопротивления $Z(s)$, определяемого формулой (7).

Для упрощения расчётов сложных схем можно воспользоваться специальными методами (например, методом контурных токов) с использованием представления воздействий в обобщённой форме (1) и обобщённого комплексного сопротивления (7).

Рассмотрим далее важную для практики возможность представления схемы токораспределения в системе с генераторами на ВИЭ электрической схемой с использованием только резистивных элементов, т.е. с использованием эквивалентной линейной резистивной цепи.

Простая зависимость между током и напряжением в резистивной форме ($u = R \cdot i$) позволяет существенно упростить вычисления даже при наличии в схеме источников энергии со сложной зависимостью от времени. Сохраняя общую методику расчёта цепи, проанализируем особенности составляющих расчётного уравнения и промежуточные результаты.

Основой рассмотренной ранее методики расчёта является составление матричного уравнения (2). Однако в нём матрица-столбец $[F]$ источников энергии в формуле (2) может содержать одновременно источники только определённого типа (постоянные синусоидальные или экспоненциальные).

В общем случае матрицу $[F]$ можно представить функциями:

$$[F] = \begin{bmatrix} f_1(t) \\ f_2(t) \\ f_3(t) \\ \vdots \\ f_{(n+g)}(t) \end{bmatrix} \quad (10)$$

где $f_1(t), f_n(t) \dots f_{(n+q)}(t)$ – источники энергии (тока и ЭДС), описываемые некоторыми функциями времени.

На функции времени не накладывается никаких ограничений, кроме возможности их аналитического описания и физической реализации. Частичные токи от каждой из этих функций (воздействий) в резистивной цепи будут повторять воздействие с точностью до постоянного вещественного множителя.

Выполнив операцию обращения матрицы $[A]$, получим:

$$[\mathbf{A}]^{-1} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Тогда токи в ветвях определятся из формулы:

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \dots \\ \dots \\ i_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2m} \\ & \dots & \dots & \\ & \dots & \dots & \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_1(t) \\ f_2(t) \\ \dots \\ \dots \\ f_m(t) \end{bmatrix} \quad (12)$$

Таким образом,

$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ \dots \\ \dots \\ i_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} \cdot f_1(t) + c_{12} \cdot f_2(t) + \dots + c_{1m} \cdot f_m(t) \\ c_{21} \cdot f_1(t) + c_{22} \cdot f_2(t) + \dots + c_{2m} \cdot f_m(t) \\ \dots \dots \\ \dots \dots \\ c_{m1} \cdot f_1(t) + c_{m2} \cdot f_2(t) + \dots + c_{mn} \cdot f_m(t) \end{bmatrix} \quad (13)$$

Следует отметить, что все элементы матрицы $[A]$, также как обращённой матрицы $[A]^{-1}$ являются действительными числами (или нулями).

Исходя из (13) можно определить все токи ветвей схемы. Например, ток в k -ой ветви

$$i_k(t) = c_{k1} f_1(t) + c_{k2} f_2(t) + \dots + c_{km} f_m(t) \quad (14)$$

Как видно из формулы (14) ток в k -ой ветви определяется коэффициентами, являющимися членами обращённой матрицы, и параметрами источников энергии в схеме. Так как источники энергии являются функциями времени, то токи в ветвях также являются в общем случае функциями времени. Выражение (14) является очень удобным для дальнейшего анализа энергораспределения в системе, в частности, потому, что достаточно просто позволяет оценить степень влияния того или иного источника энергии на величину тока в ветви и, следовательно, на величину потребляемой мощности.

Энергетический баланс в рассматриваемой резистивной системе можно записать в виде выражения:

$$\sum u_{ГЕН.} \cdot i_{ГЕН.} = \sum u_{ПОТР.} \cdot i_{ПОТР.} \quad (15)$$

где $u_{ГЕН.}$, $i_{ГЕН.}$ – напряжения и токи генераторов энергии;

$u_{ПОТР.}$, $i_{ПОТР.}$ – напряжения и токи потребителей энергии.

Мощность k -ого потребителя можно рассчитать, используя формулу

$$P_{k ПОТР.} = i_{k ПОТР.}^2 \cdot R_k \quad (16)$$

В представленных математических моделях электрической системы использования преобразователей для энергоснабжения автономных объектов параметры модели считались однозначно определёнными [10], а сами модели в таком случае рассматривались как детерминированные с конкретными выходными характеристиками при заданных воздействиях в системе.

Однако в реальности параметры источников энергии (преобразователей естественных энергетических потоков – солнечных лучей, ветра, потоков воды и т.д.) не являются постоянными, а зависят от целого ряда природных факторов, многие из которых случайные, особенно для горной местности [11].

В связи с этим для адекватного описания энергетических процессов в рассматриваемой системе необходимо в правой части уравнения (2) учесть вероятностный характер выходных характеристик электрогенераторов на ВИЭ. Это можно сделать, например, введением коэффициентов, учитывающих возможные случайные изменения параметров источников ЭДС и токов – коэффициентов вариации (коэффициент нестабильности). Матрица – столбец $[F_{CL}]$ источников энергии со случайными параметрами в этом случае примет вид:

$$[F_{CL}] = \begin{bmatrix} k_1 \cdot F_1 \\ k_2 \cdot F_2 \\ k_n \cdot F_n \\ \dots \\ k_{n+1} \cdot F_{n+1} \\ k_{n+2} \cdot F_{n+2} \\ \dots \\ k_{n+q} \cdot F_{n+q} \end{bmatrix} \quad (17)$$

где k_1, k_2, \dots, k_{n+q} – коэффициенты вариации, характеризующие случайные изменения параметров соответствующих источников энергии.

Коэффициент вариации k может изменяться случайным образом от 0 до k_{MAX} (k_{MAX} определяется для каждого генератора отдельно).

С учётом (17) уравнение (3) следует переписать в виде

$$[A] [I_{CL}] = [F_{CL}] \quad (18)$$

где матрица $[I_{CL}]$ – матрица-столбец случайных значений токов ветвей, соответствующих случайному набору параметров источников энергии, учитываемых коэффициентами вариации.

Уравнение (18) является вероятностным, характеризующим вероятностную модель токораспределения в системе. Матрица $[F_{CL}]$ формируется в соответствии с реальными законами распределения коэффициентов вариации k . Матрица $[I_{CL}]$ получается в результате соответствующих вычислений, учитывающих изменённые параметры источников энергии. Применение коэффициентов вариации можно использовать и для преобразования формулы (10), умножая все функции $f(t)$ на соответствующие коэффициенты аналогично формуле (17).

Случайные значения параметров источников энергии можно заменить их средними значениями; тогда уравнение (18) будет иметь вид:

$$[A] [I_{CP}] = [F_{CP}] \quad (19)$$

где $[F_{CP}]$ – матрица-столбец средних значений источников энергии;

$[I_{CP}]$ – матрица-столбец средних значений искомых токов.

Решение уравнения (18) заменой случайных величин на средние значения не даёт необходимой информации для подробного анализа работы системы и разработки обоснованных прогнозов. Более информативным способом анализа уравнения (18), учитывающим вероятностные законы изменения влияющих факторов, является применение статистического моделирования – метода Монте-Карло [8], [9].

Для реализации метода Монте-Карло необходимо многократно случайным образом (на основании случайных значений коэффициентов вариации) формировать матрицу-столбец $[F_{CL}]$ и вычислять соответствующие токи, используя уравнение (18). Число таких вычислений (реализаций) должно быть достаточно большим ($10^3 \div 10^4$). На основании полученного массива данных производится соответствующая статистическая обработка выходных параметров (токов, мощностей и т.д.) [12].

Необходимо отметить, что выбор случайного значения того или иного коэффициента вариации производится на основании соответствующих законов распределения, задаваемых заранее [13].

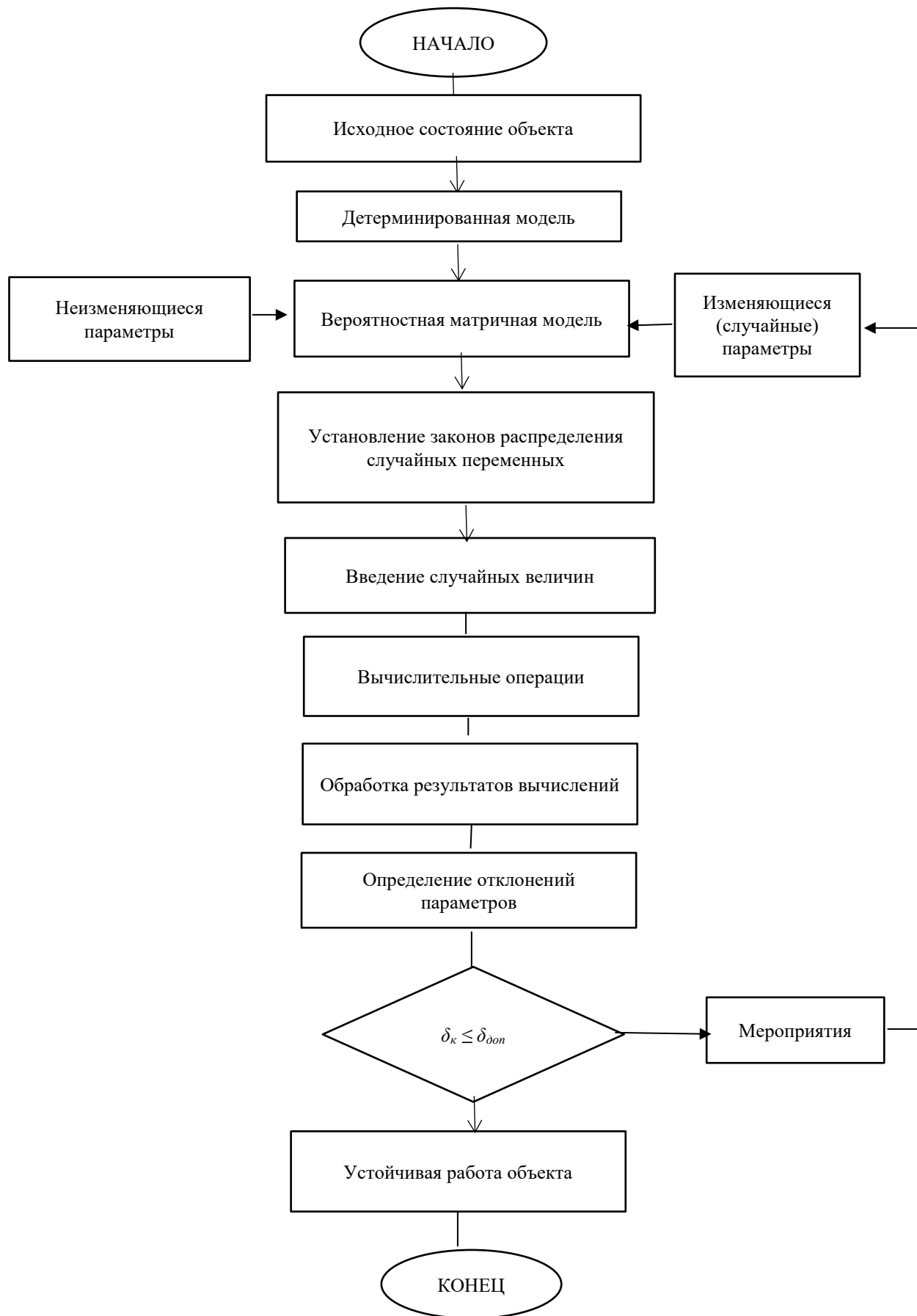


Рис. 1 – Алгоритм вероятностного анализа автономного электроснабжения индивидуальных объектов возобновляемой энергией

На рис. 1 приведён алгоритм вероятностного анализа автономного электроснабжения индивидуального объекта возобновляемой энергией. Исходное состояние объекта характеризуется общей эквивалентной электрической схемой, содержащей источники возобновляемой энергии (ветро-, гелио-, гидрогенераторы, включая резервный дизель-генератор), различные автономные потребители (жилые дома, теплицы, фермы и т.д.), соответствующую коммутационную и контрольно-измерительную аппаратуру [14].

Для конкретной эквивалентной электрической схемы составляется детерминированная матричная модель (2), которая затем преобразуется в вероятностную заменой матрицы-столбца $[F]$ на матрицу $[F_{сл}]$. При этом возможно использовать любые рассмотренные ранее частные случаи воздействий: синусоидальной, экспоненциальной, произвольные вариации воздействий в резистивной цепи и т.д.

В вероятностную модель вводятся неизменяющиеся параметры и далее задаются законы распределения случайных величин, входящих в общую формулу вероятностной модели [15].

В рассматриваемом случае случайными величинами являются коэффициенты вариации, относящиеся к генераторам. В более общем случае случайными могут быть и отдельные параметры потребителей.

Для каждой реализации (вычисления матричного уравнения с конкретными числовыми элементами) сначала случайным образом (с помощью генератора случайных чисел) выбираются конкретные значения коэффициентов вариации в соответствии с принятыми их законами распределения. Выбранные коэффициенты вариации подставляются в матричное уравнение, которое решается; в результате чего выдаётся набор искомых величин (токов ветвей) [16]. Так повторяется многократно до получения массива данных ($10^3 \div 10^4$), достаточного для получения репрезентативных характеристик. Описанные операции представлены в алгоритме этапом «Вычислительные операции».

Далее производится анализ полученных в результате вычислительных операций значений искомых переменных. Обработывая соответствующим образом массив случайных значений тока, например, в «п»-ой ветви (соответствующие данные по «п»-ой ветви, полученные в результате вычислений), можно построить гистограммы, определить закон распределения тока, как случайной величины, сделать обоснованный прогноз возможного изменения его величины в конкретных пределах [17].

Важными данными с точки зрения устойчивой работы системы являются отклонения значений переменных от номинальных значений

$$\delta_k = \frac{N_{расч.} - N_H}{N_H} \cdot 100 \% \quad (20)$$

где δ_k – отклонение «k»-го параметра от номинального значения в %;

$N_{расч.}$ – значение параметра, полученного в результате расчёта (например, тока);

N_H – номинальное значение параметра, соответствующего нормальному режиму работы установок.

Так как отклонение может быть как в большую, так и в меньшую сторону, то для дальнейшего анализа используется абсолютная величина отклонений [18].

Отклонения от номинальных значений энергетических параметров (тока, напряжения, мощности) системы допускаются только до определённых пределов, выше которых нарушается нормальная работа установок (потребителей). Потому для нормальной работы системы должны выполняться условия:

$$\delta_K \leq \delta_{K доп} \quad (21)$$

Например, если условие (22) относится к мощности (P), то

$$\delta_K = \frac{P_{расч.} - P_H}{P_H} \leq \delta_{р. доп.} \quad (22)$$

Последнее означает, что превышение или недостаток мощности, генерируемой в системе, не должен превышать определённых пределов. Избыток мощности передаётся накопительным устройствам, а её недостаток, наоборот, компенсируется накопительными устройствами, которые в первом случае работают потребителями, а во втором – генераторами. Ёмкость накопительных устройств ограничена, отсюда и ограничения по допустимому разбросу расчётной и номинальной мощностям.

Если условия $\delta_K \leq \delta_{K доп}$ выполняются для всех эксплуатационных параметров системы, то можно говорить об её устойчивой работе. Если эти условия не выполняются, то нормальный режим работы установок нарушается и следует принимать меры по поддержанию требуемых параметров энергетических процессов (и технических характеристик, соответствующих системы) в соответствующих пределах [19].

Для достижения устойчивой работы системы электроснабжения в случае, если условия (21) не выполняются следует реализовать необходимые мероприятия по восстановлению энергетического баланса между источниками и потребителями, например, такие, как введение ограничений на потребляемую мощность, использование резервных генераторов, в частности, дизель-генераторов, увеличение ёмкости накопителей электрической энергии и т.п.

Вероятностный анализ токораспределения и электроснабжения автономной системы потребителей на основе ВИЭ является неотъемлемой частью общего расчёта электроснабжения и электропотребления в системе, так как позволяет учесть случайный характер выходных параметров генераторов на ВИЭ и обосновать мероприятия по обеспечению устойчивой работы системы электроснабжения [20].

Выводы

Предложенные выше детерминированная и вероятностная модели электрической системы использования преобразователей ВИЭ для автономного энергоснабжения индивидуальных объектов позволяют выполнить аналитически всесторонний анализ электрической системы, состоящей из генераторов возобновляемой энергии различного типа (ветро-, гидро-, гелиогенераторов) и различных потребителей. Вероятностный анализ позволяет сделать обоснованные прогнозы и выработать необходимые мероприятия по обеспечению устойчивой работы системы энергоснабжения.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Альтернативные топливно-энергетические ресурсы: экономико-управленческие аспекты использования в условиях инновационного развития общества / В. В. Богатырева. — Новополоцк : ПГУ, 2017. — 323 с.
2. Возобновляемая энергетика / В. В. Елистратов. — Санкт-Петербург : Издательство политехнического университета, 2016. — 421 с.
3. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебное пособие / Ю. Д. Сибикин. — Москва : КноРус, 2017. — 228 с.
4. Горлач, Б.А. Математическое моделирование. Построение моделей и численная реализация / Б.А. Горлач, В.Г. Шахов. - СПб.: Лань, 2016. - 292 с.
5. Яглом И.М. Математические структуры и математическое моделирование / И.М. Яглом. - М.: Ленанд, 2018. - 144 с.
6. Нейман Л.Р. Теоретические основы электротехники / Л.Р. Нейман, К.С. Демирчян. В двух томах. Учебник для вузов. Том 1. Энергоиздат. 1981 – 536 с.
7. Матханов П.П. Основы анализа электрических цепей. Линейные цепи / П.П. Матханов. Учебное издание. М. Внеш.школа 1990 – 400 с.
8. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло в вычислительной математике: ввод.курс / С.М. Ермаков. М., 2009 – 192 с.
9. Войтишек А.В. Дополнительные сведения о численном моделировании случайных элементов: учеб.пособие/ Новосибирск: НГУ, 2007 92 с.
10. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография / Б.В. Лукутин, О.А. Суржикова, Е.Б. Шандарова. М.: Энергоатомиздат, 2008. 231 с.
11. Карамов Д.Н. Актуальность применения возобновляемых источников энергии в децентрализованных населенных пунктах России на примере Ленского района Республики Саха (Якутия) / Д.Н. Карамов // Вестник ИрГТУ. 2013. № 11 (82). С. 279-283.
12. Ranjeva M. Design Optimization of a Hybrid, Small, Decentralized Power Plant for Remote / Minna Ranjeva, Anil K. Kulkarni. // Rural Areas. Energy Procedia. 2012. V. 20. P. 258-270.
13. Experimental analysis of a solar PV/diesel hybrid system without storage: Focus on its dynamic behavior / D. Yamegueu, Y. Azo u-mah, X. Py, H. Kottin. // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2013. V. 44. P. 267-274.
14. Стычинский З.А. Возобновляемые источники энергии: теоретические основы, технологии, технические характеристики, экономика / З.А. Стычинский, Н.И. Воропай. Магдебург - Иркутск, 2010. 215 с.
15. Dursun E. Comparative evaluation of different power management strategies of a stand-alone PV/Wind/PEMFC hybrid power system / Erkan Dursun, Osman Kilic // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2012. 34. P. 81-89.
16. Salas V. Overview of the state of technique for PV inverters used in low voltage grid-connected PV systems: Inverters above 10kW / V. Salas, E. Olías // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011. V. 15. P. 1250-1257.
17. Branker K. A review of solar photovoltaic leveled cost of electricity / K. Branker, M.J.M. Pathak, J.M. Pearce // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011. V. 15. P. 4470-4482.
18. Multi-objective optimization minimizing cost and life cycle emissions of stand-alone PV-wind-diesel systems with batteries storage / Rodolfo Dufo-López, José L. Bernal-Agustín, José M. Yusta-Loyo et al. // Applied Energy. 2011. V. 88. P. 4033-4041.
19. Марченко О.В. Эффективность газогенераторных электростанций на древесном топливе для электроснабжения децентрализованных потребителей / О.В. Марченко, С.В. Соломин // Экология промышленного производства. 2016. № 4 (96). С. 30-34.
20. Марченко О.В. Анализ совместного использования энергии солнца и ветра в системах автономного электроснабжения / О.В. Марченко, С.В. Соломин // Промышленная энергетика. 2016. № 9. С. 39-43.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Al'ternativnye toplivno-ehnergeticheskie resursy: ehkonomiko-upravlencheskie aspekty ispol'zovanija v uslovijakh innovacionnogo razvitiya obshhestva [Alternative fuel and energy resources: economic and managerial aspects of research in the conditions of innovative development of society] / V. V. Bogatyreva. - Novopolotsk: PSU, 2017. - 323 p. [in Russian]
2. Vozobnovljaemaja ehnergetika [Renewable energy] / V. V. Elistratov. - Saint Petersburg: Polytechnic University Publishing House, 2016. - 421 p. [in Russian]
3. Netradicionnye i vozobnovljaemye istochniki ehnergii: uchebnoe posobie [Unconventional and renewable energy sources: a textbook] / Yu. D. Sibikin. - Moscow: KnoRus, 2017. - 228 p. [in Russian]
4. Gorlach, B. A. Matematicheskoe modelirovanie. Postroenie modelej i chislennaja realizacija [Mathematical modeling. Model construction and numerical implementation] / B. A. Gorlach, V. G. Shakhov. - St. Petersburg: Lan, 2016. - 292 p. [in Russian]
5. Yaglom, I. M. Matematicheskie struktury i matematicheskoe modelirovanie [Mathematical structures and mathematical modeling] / I. M. Yaglom. - M.: Lenand, 2018. - 144 p. [in Russian]
6. L. R. Neiman Teoreticheskie osnovy ehlektrotekhniki. V dvukh tomakh. Uchebnik dlja vuzov [Theoretical foundations of electrical engineering. In two volumes. Textbook for universities] / L. R. Neiman, K. S. Demirchyan. Volume 1. Energoizdat. 1981 – 536 p. [in Russian]
7. Matkhanov P. P. Osnovy analiza ehlektricheskikh cepejj. Linejnye cepi. Uchebnoe izdanie [Fundamentals of the analysis of electrical circuits. Linear circuits. Educational publication] / P. P. Matkhanov. M. Vnesh.shkola 1990-400 p. [in Russian]
8. Ermakov S. M. Metod Monte-Karlo v vychislitel'noj matematike: vvod.kurs [The Monte Carlo method in computational mathematics: an introductory course] / S. M. Ermakov. Moscow, 2009-192 p. [in Russian]

9. Voytishchik A.V. *Dopolnitel'nye svedeniya o chislennom modelirovanii sluchajnykh ehlementov: ucheb.posobie* [Additional information about numerical modeling of random elements: textbook.stipend] / A. V. Voytishchik Novosibirsk: NSU, 2007 92 p. [in Russian]
10. *Vozobnovljaemaja ehnergetika v decentralizovannom ehlektrosnabzhenii: monografija* [Renewable energy in decentralized electricity supply: a monograph] / B. V. Lukutin, O. A. Surzhikova, E. B. Shandarova. Moscow: Energoatomizdat, 2008. 231 p. [in Russian]
11. Karamov D. N. Aktual'nost' primeneniya vozobnovljaemykh istochnikov ehnergii v decentralizovannykh naseleennykh punktakh Rossii na primere Lenskogo rajjona Respubliki Sakha (Jakutija) [Relevance of the use of renewable energy sources in decentralized settlements of Russia on the example of the Lensky district of the Republic of Sakha (Yakutia)] / D. N. Karamov // *Vestnik IrGtU* [Bulletin of IrSTU]. 2013. No. 11 (82), pp. 279-283 [in Russian]
12. Ranjeva M. Design Optimization of a Hybrid, Small, Decentralized Power Plant for Remote / Minna Ranjeva, Anil K. Kulkarni. // *Rural Areas. Energy Procedia*. 2012. V. 20. P. 258-270.
13. Experimental analysis of a solar PV/diesel hybrid system without storage: Focus on its dynamic behavior / D. Yamegueu, Y. Azo u-mah, X. Py, H. Kottin. // *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2013. V. 44. P. 267-274.
14. Stychinsky Z. A. *Vozobnovljaemye istochniki ehnergii: teoreticheskie osnovy, tekhnologii, tekhnicheskie kharakteristiki, ehkonomika* [Renewable energy sources: theoretical foundations, technologies, technical characteristics, economics] / Z. A. Stychinsky, N. I. Voropay. Magdeburg-Irkutsk, 2010. 215 p. [in Russian]
15. Dursun E. Comparative evaluation of different power management strategies of a stand-alone PV/Wind/PEMFC hybrid power system / Erkan Dursun, Osman Kilic // *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2012. 34. P. 81-89.
16. Salas V. Overview of the state of technique for PV inverters used in low voltage grid-connected PV systems: Inverters above 10kW / V. Salas, E. Olías // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. V. 15. P. 1250-1257.
17. Branker K. A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity / K. Branker, M.J.M. Pathak, J.M. Pearce // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. V. 15. P. 4470-4482.
18. Multi-objective optimization minimizing cost and life cycle emissions of stand-alone PV-wind-diesel systems with batteries storage / Rodolfo Dufo-López, José L. Bernal-Agustín, José M. Yusta-Loyo et al. // *Applied Energy*. 2011. V. 88. P. 4033-4041.
19. Marchenko O. V. Ehffektivnost' gazogeneratornykh ehlektrostancijj na drevesnom toplive dlja ehlektrosnabzhenija decentralizovannykh potrebitelej [Efficiency of wood-fired gas-generating power plants for electricity supply to decentralized consumers] / O. V. Marchenko, S. V. Solomin // *Ehkologija promyshlennogo proizvodstva* [Ecology of industrial production]. 2016. № 4 (96), pp. 30-34 [in Russian]
20. Marchenko O. V. Analiz sovmestnogo ispol'zovanija ehnergii solnca i vetra v sistemakh avtonomnogo ehlektrosnabzhenija [Analysis of the joint use of solar and wind energy in autonomous power supply systems] / O. V. MArchenko, S. V. Solomin // *Promyshlennaja ehnergetika* [Industrial energy]. 2016. № 9, pp. 39-43 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.006>

МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЁТА И ОРГАНИЗАЦИИ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ (В УСЛОВИЯХ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ)

Научная статья

Петров Ю.С.¹, Зорина И.Ю.², Музаев А.К.^{3,*}^{1, 2, 3} Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет),
Владикавказ, Россия

* Корреспондирующий автор (alexandr.muzaev[at]mail.ru)

Аннотация

Предложена методология расчёта и организации автономного энергоснабжения индивидуальных объектов от возобновляемых источников энергии в условиях горных территорий. Основой расчёта являются энергетические соотношения в системе генератор – накопитель – потребитель за различные промежутки времени (час, сутки, месяц и т.д.), учитывающие как суточные, так и сезонные изменения параметров генерации и потребления; предложен алгоритм расчёта.

Рассмотрена организация автономного энергоснабжения потребителей от ВИЭ, включающая в себя основные этапы и параметры функционирования автономного энергетического комплекса (энергетические, техногенные, экологические риски горных территорий), а также их анализ с точки зрения возможных отклонений от допустимых по технологическим нормам предельных значений. Предложен алгоритм организации автономного энергоснабжения от ВИЭ индивидуальных потребителей с учётом специфики горных территорий.

Ключевые слова: расчёт, методология, организация, автономное энергоснабжение, ВИЭ, индивидуальный объект, функционирование, энергетические, техногенные, экологические характеристики.

METHODOLOGY OF CALCULATION AND ORGANIZATION OF AUTONOMOUS POWER SUPPLY OF INDIVIDUAL FACILITIES VIA RENEWABLE ENERGY (IN MOUNTAINOUS AREAS)

Research article

Petrov Yu.S.¹, Zorina I.Yu.², Muzaev A.K.^{3,*}^{1, 2, 3} North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia

* Corresponding author (alexandr.muzaev[at]mail.ru)

Abstract

The current article proposes a methodology for calculating and organizing an autonomous power supply of individual objects from renewable energy sources in mountainous areas is proposed. The calculation is based on the energy ratios in the generator-storage-consumer system for various time intervals (hour, day, month, etc.), taking into account both daily and seasonal changes in the parameters of generation and consumption; a calculation algorithm is proposed.

The article examines the organization of autonomous energy supply to the consumers of renewable energy sources, which includes the main stages and parameters of the functioning of an autonomous energy complex (energy, man-made, environmental risks of mountainous zones) as well as their analysis from the point of view of possible deviations from the permissible limit values according to technological standards. Also, an algorithm for organizing autonomous energy supply from renewable energy to individual consumers is proposed taking into account the specifics of mountainous zones.

Keywords: calculation, methodology, organization, autonomous power supply, renewable energy, individual object, functioning, energy, technogenic, environmental characteristics.

Для устойчивого развития горных территорий всё большее значение приобретает использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в частности, для автономного энергоснабжения индивидуальных малоэнергоёмких объектов (жилых домов, теплиц, охотничьих домиков, туристических баз и т.д.) [1], [2], [3]. Энергоснабжение (электро- и теплоснабжение) таких объектов может быть с успехом реализовано на основе использования ВИЭ, находящихся в зоне расположения объектов.

В условиях горных территорий, как правило, имеются большие возможности использования основных энергетических потоков естественного происхождения: солнечных лучей, ветра, потоков движущейся воды (горных рек, водопадов и т.п.), т.е. использования ВИЭ. Комбинированному использованию ВИЭ в настоящее время уделяется очень большое внимание [4], [5], [6], [8]. Для эффективного использования ВИЭ в автономной системе энергоснабжения следует, по возможности, одновременно использовать в энергетической установке преобразователи различного типа (ветро-, гелио-, гидрогенераторы. Необходимо прежде всего количественно оценить потенциальные возможности генерации на основе ВИЭ (возобновляемой энергии) и сравнить их с требуемыми энергетическими запросами потребителей.

При электроснабжении от общей генерирующей системы (с использованием ЛЭП), как правило, предполагается, что источник энергии имеет достаточную мощность для удовлетворения запросов потребителя и поэтому расчёт носит односторонний характер – рассчитываются лишь параметры нагрузки с учётом их возможных колебаний.

Расчёт автономного энергоснабжения индивидуальных объектов от ВИЭ имеет свои существенные особенности [9], [10]. Основные из них следующие:

- ограниченная мощность источников генерации;
- непостоянство во времени выходных параметров источников;
- различие в форме выходного тока и напряжения источников генерации различного типа;

- непостоянство параметров потребителей индивидуальных объектов;
- практическая невозможность добиться абсолютного равенства между мгновенными значениями генерируемой и потребляемой в системе мощностями;
- сезонные изменения параметров генераторов и потребителей в общей системе автономного энергоснабжения индивидуальных объектов от ВИЭ.

Ограниченная величина мощности источников генерации на ВИЭ объясняется трудностями реализации установок большой мощности, их негативным влиянием на окружающую среду, возможностями воздействия на них экологических рисков различного типа. Установки малой мощности можно максимально приблизить к потребителю, вплоть до непосредственного использования для генерации энергии его конструктивных особенностей (например, крыши дома для установки солнечных панелей и т.п.).

Генерация энергии установками непосредственного использования естественных энергетических потоков (солнечных лучей, ветра, движущейся воды) зависит от параметров этих потоков [11], которые, в свою очередь, зависят от многих случайных факторов и поэтому непостоянны. Возможные колебания величин генерируемой мощности должны компенсироваться различными дополнительными устройствами (аккумуляторами, резервными генераторами, например, дизель-генераторами и т.п.), что соответствующим образом должно быть отражено в расчёте.

Преобразовательные установки различного принципа действия [4] генерируют выходные напряжения различной формы (постоянное – солнечные батареи; переменное – ветро- и гидрогенераторы). В общем случае, в системе будут действовать ЭДС различных выходных параметров и для расчёта токов в этом случае можно использовать методы анализа цепей несинусоидального тока. Однако перед поступлением в общую энергетическую сеть выходное напряжение конкретного генератора обычно преобразуется в постоянное, подаётся на аккумуляторы и далее – индивидуальному потребителю или в общую сеть, что упрощает как систему энергопотребления, так и расчёт общей электрической сети.

Непостоянство выходных параметров генераторов сопровождается непостоянством входных параметров потребителей. Нагрузка индивидуальных объектов, как правило, не является неизменной, а зависит от количества и мощности одновременно работающих установок на объекте и характера нагрузки.

Всё перечисленное делает очень сложным выдержать соответствие между мгновенными значениями вырабатываемой генераторами и потребляемой мощностями, и, следовательно, равенство между этими мощностями не может быть положено в основу методологии энергетического расчёта, как это делается обычно в теории электрических цепей.

В качестве существенной особенности расчёта системы автономного энергоснабжения индивидуальных объектов от ВИЭ следует указать на сезонные изменения параметров генерации и потребления в системе [11]. Эти изменения относятся как к преобразователям естественных энергетических потоков, так и к потребителям генерируемой энергии.

В зависимости от времени года (лето, зима и т.д.) изменяются: солнечная инсоляция, уровень воды в горных реках, интенсивность и направление ветра и т.д. Всё это естественным образом отражается на выходных параметрах солнечных батарей, гидро- и ветрогенераторов.

Энергопотребление индивидуальных объектов также изменяется сезонно: зимой больше энергии требуется на теплоснабжение объекта, летом – на работу холодильников и т.д. Сезонные изменения условий и величины генерации и потребления электроэнергии приводят к необходимости рассмотрения не только баланса мощности (БМ) между генераторами и потребителями в системе, но и энергетического баланса (ЭБ) за различные промежутки времени T_K (сутки, месяц, год) (см. рис. 1).

Для компенсации суточных и сезонных изменений в генерации и потреблении энергии обычно используют накопители энергии (электрические и тепловые аккумуляторы), а также резервные электрогенераторы на традиционном топливе (обычно дизель-генераторы).

Описанные особенности автономного энергоснабжения индивидуальных объектов от ВИЭ отражены в приведённом далее (рис. 1) алгоритме общего расчёта системы генераторов на ВИЭ и индивидуальных малоэнергоёмких объектов с автономным энергообеспечением возобновляемой энергией.

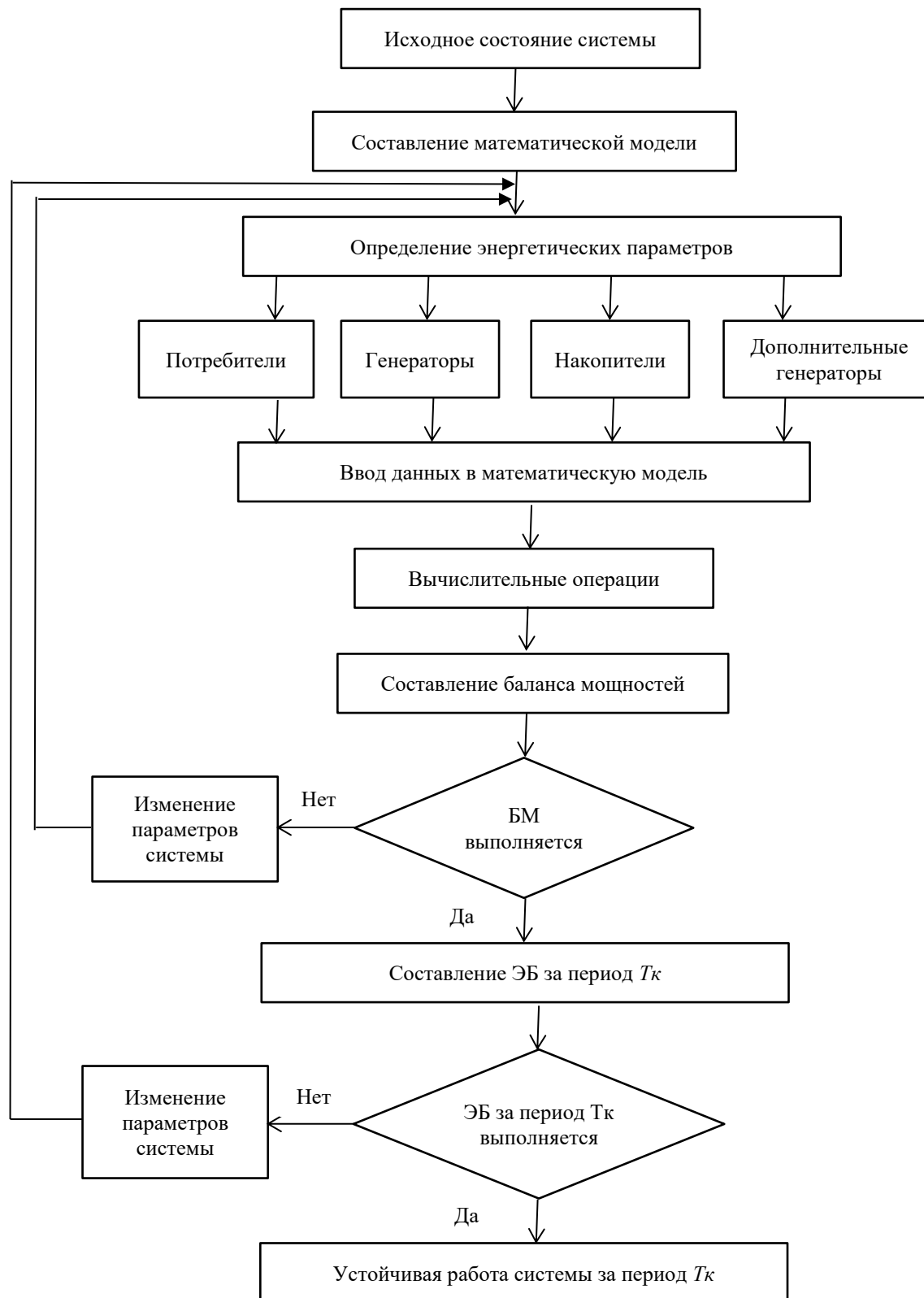


Рис. 1 – Алгоритм расчёта энергоснабжения

В соответствии с алгоритмом, изображённом на рис. 1, первым этапом расчёта является составление математической модели, соответствующей исходному состоянию объекта. Могут быть составлены детерминированная, динамическая или вероятностная модели. Далее предполагается, что составлена детерминированная математическая модель, обладающая достаточной адекватностью и возможностью изменения определяющих переменных в требуемых для исследования пределах.

Для выполнения расчёта требуется предварительно определить исходные данные – энергетические параметры всех составляющих системы: потребителей, генераторов, накопителей, дополнительных (резервных) генераторов и т.д. Исходные данные должны включать в себя не только конкретные энергетические характеристики объектов (электрические сопротивления, номинальная мощность, рабочий ток, напряжения и т.д.), но и информацию о возможных текущих изменениях этих характеристик в зависимости как от внутрисистемных изменений (параметров генерации, потребления и т.д.), так и от внешних (природных) условий, влияющих на работу генераторов и потребителей.

Изменение энергетических параметров, составляющих системы, влияет как на баланс мощностей потребителей и генераторов, так и на общий энергетический баланс в системе.

После получения необходимых исходных данных они вводятся в вычислительную машину для использования в соответствующих вычислительных операциях.

Наиболее важным фактором, определяющим нормальное функционирование системы, является баланс мощностей [9] между генераторами и потребителями. В силу указанных выше причин математическое выражение баланса мощностей в рассматриваемой системе можно записать в виде уравнения:

$$\Sigma P_{ВЭ} + \Sigma P_{Доп} = \Sigma P_{Потр} \pm \Sigma P_{Нак} \quad (1)$$

где $\Sigma P_{ВЭ}$ – сумма мощностей генераторов возобновляемой энергии;

$\Sigma P_{Доп}$ – сумма дополнительных (резервных) мощностей;

$\Sigma P_{Потр}$ – сумма мощностей потребителей;

$\Sigma P_{Нак}$ – сумма мощностей накопительных установок.

Уравнение (1) носит общий характер и не учитывает конкретных преобразований энергии в потребителе, в частности, в использовании промежуточных аккумуляторов и инвертора.

Детерминированная модель предполагает использование конкретных значений исходных данных. Для анализа реального состояния системы исходные данные можно изменять в соответствии с изменением условий работы системы, и, следовательно, получать необходимые энергетические характеристики для выполнения баланса мощностей.

В уравнении (1) основной исходной величиной является потребляемая всей нагрузкой мощность $\Sigma P_{Потр}$. Эта мощность может варьировать в определённых пределах, что необходимо учитывать при составлении и анализе баланса мощностей. Генерируемая от ВИЭ мощность $\Sigma P_{ВЭ}$ также может колебаться, как уже указывалось, в силу непостоянства параметров естественных энергетических потоков. Полного соответствия (равенства) этих мощностей можно добиться только в отдельных частных случаях. В общем же случае мощности генерируемая и потребляемая могут отличаться друг от друга и для выполнения баланса мощностей используют, как правило, промежуточные накопители энергии (аккумуляторы) и в редких случаях – дополнительные генераторы (дизель-генераторы).

В уравнении (1) перед слагаемым $\Sigma P_{Нак}$ стоит знак «±» (плюс-минус), так как накопитель может работать в двух режимах: в режиме накопления энергии – потребителем (знак «+»), когда её производится с избытком или в режиме генерации энергии (знак «-»), когда её производится с недостатком). В последнем случае может быть задействован также дополнительный источник генерации – дизель-генератор.

В некоторых случаях для упрощения системы электроснабжения вся энергия, вырабатываемая генераторами, передаётся в накопитель, от которого далее происходит питание потребителей. Накопитель в этом случае должен иметь ёмкость, способную компенсировать перепады генерации и потребления энергии и возможность непрерывно пополнять энергию, отдаваемую потребителям. Однако и в этом случае основным уравнением для анализа баланса мощности остаётся уравнение (1).

Если уравнение баланса мощностей выполняется (при соответствующих возможных для реализации частных значениях $\Sigma P_{Нак}$ и $\Sigma P_{Доп}$), то приступают к анализу энергетического баланса. Если энергетический баланс не выполняется, то следует провести анализ причин невозможности выполнения баланса мощностей, разработать конкретные мероприятия по необходимому изменению параметров системы и выполнить новый расчёт с изменяющимися составляющими системы для получения значений выходных параметров, удовлетворяющих уравнению (1).

Выполнение баланса мощностей является обязательным условием устойчивой работы системы. Однако не менее важным условием её нормальной работы является энергетический баланс – соответствие между генерируемой и потребляемой мощностью за какой-то конкретный промежуток времени, в течение которого параметры генераторов и приёмников могут меняться. Например, в течение суток меняется мощность солнечных батарей от 0 до максимума при одновременном изменении энергопотребления жилым домом, как индивидуальным объектом в системе.

Если упростить ситуацию, то можно рассматривать два уравнения энергетического баланса:

$$\Sigma W_{ВЭ} = \Sigma W_{Накоп} \quad (2)$$

$$\Sigma W_{Накоп} \geq \Sigma W_{Потр} \quad (3)$$

где $\Sigma W_{ВЭ}$ – вся энергия генерации за рассматриваемый промежуток времени;

$\Sigma W_{Накоп}$ – энергия, переданная в накопительное устройство;

$\Sigma W_{Потр}$ – энергия, требуемая для нормальной работы потребителей за рассматриваемый промежуток времени.

В соответствии с уравнениями (2), (3) вся генерируемая энергия сначала накапливается в накопителях (аккумуляторах), а затем из накопителя передаётся потребителю. Излишек энергии можно учитывать при дозаряде аккумуляторов или использовать его для питания дополнительных приёмников.

Однако более информативной, позволяющей проводить подробный анализ является запись уравнения энергетического баланса, подобного уравнению баланса мощностей:

$$\Sigma W_{ВЭ} + \Sigma W_{Доп} = \Sigma W_{Потр} \pm \Sigma W_{Накоп} \quad (4)$$

Уравнение (4) получается интегрированием уравнения (1) при заданных законах $P_k(t)$ изменения мощности во времени составляющих системы. Физическая интерпретация уравнения (4) аналогична физической интерпретации уравнения (1). Период времени, за который вычисляется энергия, определяется целями расчёта и задачами

прогнозирования и может быть определен, например, как сутки, неделя, месяц и т.д. в соответствии с суточным, недельным, сезонным и годовым графиками электрических нагрузок потребителя.

Если энергетический баланс не выполняется, то аналогично баланс мощностей следует принять меры для его выполнения. Если выполняются и баланс мощностей, и энергетический баланс, то система работает в устойчивом режиме и для обеспечения надёжности следует только контролировать параметры генераторов и потребителей и своевременно предотвращать их возможные аномальные изменения.

Выполнение баланса мощностей и энергетического баланса является основным аспектом при рассмотрении теории и практики автономного электроснабжения индивидуальных объектов от ВИЭ. Другим, не менее важным, является эффективная организация системы, логистика комплекса мероприятий по созданию и функционированию автономной системы энергоснабжения, управлению естественными и преобразованными потоками энергии [12].

Методология организации (логистика) автономного энергоснабжения индивидуальных объектов от ВИЭ в условиях горных территорий включает в себя анализ основных направлений функционирования автономного комплекса энергообеспечения с учётом особенностей горных условий. К таким направлениям относятся: генерация электроэнергии (энергетическое направление); воздействие на окружающую среду (техногенное направление); воздействие аномальных природных явлений на энергетический комплекс – экологические риски.

Энергетическое направление организации функционирования автономного комплекса энергообеспечения индивидуальных объектов включает в себя как главный этап – обеспечение бесперебойного качественного энергоснабжения потребителя. Основное формальное отличие энергетического потока от обычного материального, как известно, состоит в отсутствии прямой возможности складировать готовую продукцию – электрическую энергию.

Определяющая особенность рассматриваемого процесса энергообеспечения (как и электроэнергетики вообще) – это непрерывность и практическое совпадение во времени процессов преобразования естественных энергетических потоков в искусственные (электроэнергию), распределение и потребление полученной энергии.

Нестабильность процессов генерации возобновляемой энергии и процессов её потребления должны учитываться в уравнении, описывающем энергетическое состояние системы – уравнение энергетического баланса. Анализ уравнений баланса мощностей и энергетического баланса был дан в первой части статьи. Рассматривая процесс организации автономного энергоснабжения следует отметить, что условия соответствия генерации и потребления энергии в системе должны быть основными, как на стадии проектирования системы, так и в процессе её эксплуатации, для чего должен осуществляться непрерывный мониторинг соответствующих параметров как генераторов, так и потребителей.

В условиях нестабильности параметров генераторов и потребителей, их зависимости от времени суток, погодных условий и т.д., следует составлять и согласовывать графики электрических нагрузок и генерируемой мощности на сутки, неделю, месяц, сезон и т.д. Необходимо рассчитывать резервные мощности и возможности накопительных устройств. Ориентация на средние показатели может дать только общую картину, не раскрывающую частных, конкретных ситуаций. Для более точных прогнозов следует использовать вероятностную модель системы.

Технологический процесс генерирования энергии, в частности, устройствами на ВИЭ неизбежно связан с техногенным циклом [13], сопровождающим этот процесс (т.е. с совокупностью техногенных, вредных для человека и окружающей среды явлений и факторов). Хотя применение ВИЭ является экологически более предпочтительным, чем использование других источников энергии, тем не менее, эксплуатация установок на ВИЭ сопряжена с некоторыми более или менее значительными нарушениями экологии в соответствующей местности.

Наиболее безвредным для периода эксплуатации является применение солнечных батарей, хотя положение резко меняется, если рассматривать их полный жизненный цикл: производство – эксплуатация – утилизация. Ограничиваясь лишь периодом эксплуатации, можно отметить следующие техногенные проявления нарушения ландшафта, отчуждение земель (для мощных солнечных установок), перераспределение энергии солнечных лучей. Наиболее существенным техногенным фактором, условно относящимся к периоду эксплуатации, является утилизация отработавших свой срок солнечных панелей.

Если говорить о ветрогенераторах, то следует отметить шумовые загрязнения, вред для пролетающих птиц, нарушение ландшафта. Последнее особенно важно для рекреационных районов, одной из достопримечательностей которых в горных условиях является красота пейзажа.

Организуя энергетический комплекс на ВИЭ, в состав которого входят ветроустановки, необходимо учитывать не только направление и скорость ветра в соответствующей местности, но и экологию этих установок, наличие объектов, на которые техногенные факторы ветроустановок могут влиять наиболее сильно (санатории, заповедники) и т.п.

Предполагается, что в рассматриваемый комплекс применения ВИЭ входят также гидрогенераторы, использующие энергию горных рек, которые можно устанавливать в непосредственной близости от потребителя, реализуя рукавный принцип строительства микроГЭС. Использование энергии падающей воды является довольно эффективным способом получения электрической энергии. Однако и в этом случае не обходится без экологических воздействий, выражающихся, в частности, в нарушении ландшафта, искажении естественного русла рек, вреда для миграции и обитания рыбы и т.д.

Степень вредного воздействия генераторов возобновляемой энергии на окружающую природную среду не должна превышать допустимых значений, в связи с чем необходимо проводить мониторинг параметров техногенного цикла, сопровождающего генерацию энергии соответствующими устройствами, оценивать результаты мониторинга, сравнивая их с допустимыми значениями, и принимать, при необходимости, меры по снижению вредного воздействия установок на окружающую природную среду.

В условиях горных территорий, рассматривая систему энергоснабжения, необходимо учитывать и вероятность проявления различного рода экологических рисков (ливни, ураганы, снегопады, камнепады, лавины, снежные бури и т.п.). Воздействия возможные аномальных природных явлений на систему необходимо учитывать как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации системы, обеспечивая необходимый мониторинг природных факторов, способных создать опасную ситуацию.

Описанная общая методология организации (логистика) автономного энергообеспечения индивидуальных объектов на основе ВИЭ в условиях горных территорий представлена алгоритмом, изображённым на рис. 2. Алгоритм содержит основные этапы реализации главной задачи энергетической логистики: организацию движения энергетических потоков (генерации, распределения и потребления электрической энергии в данном случае получаемой от ВИЭ); управление ими и сопутствующими факторами в реальном времени с целью надёжного обеспечения электроэнергией потребителей, в частности, в автономной системе энергообеспечения.

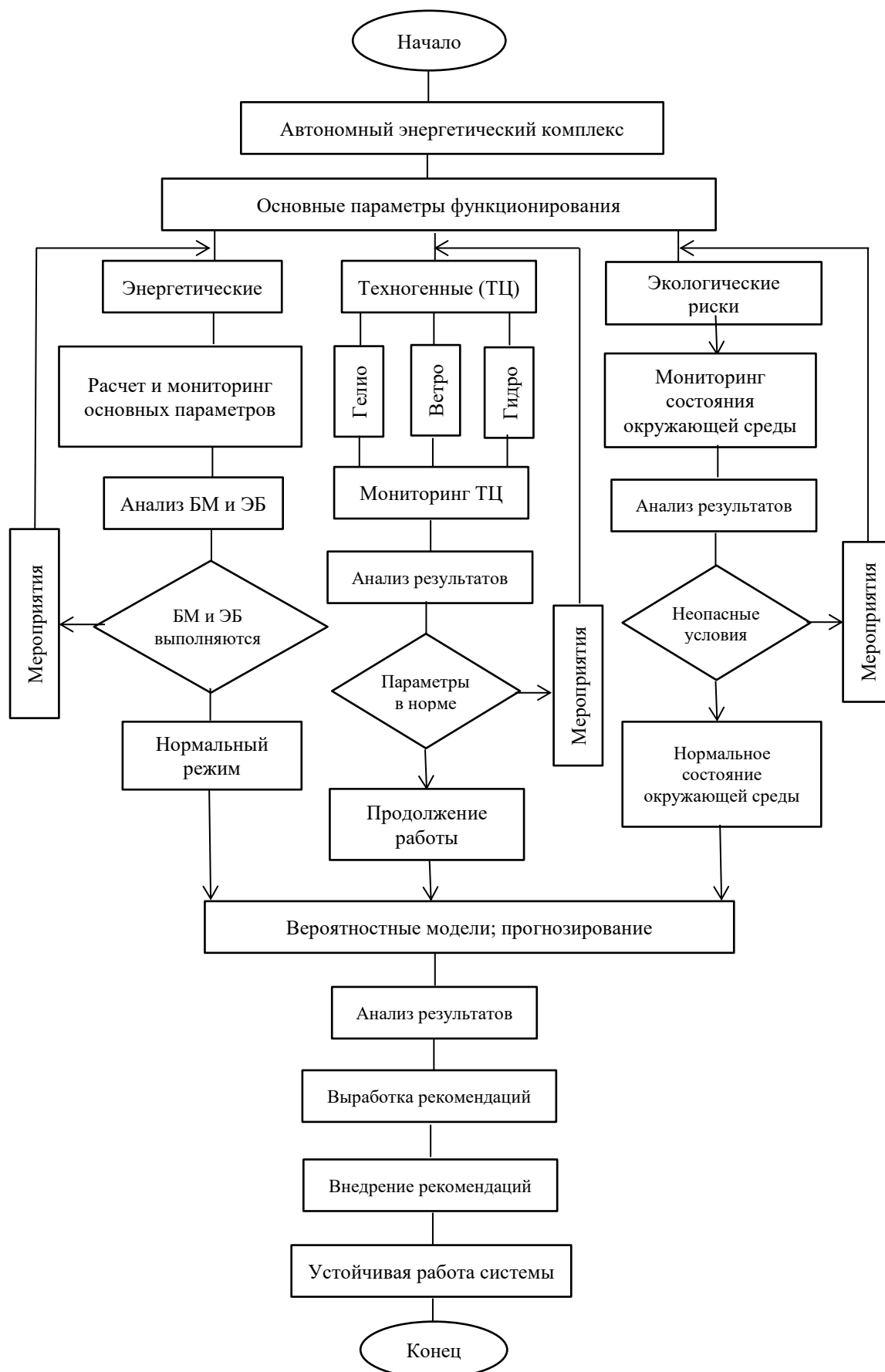


Рис. 2 – Алгоритм организации энергоснабжения от ВИЭ

В алгоритме рис. 2 (далее – просто алгоритме) в качестве основных выделены следующие параметры функционирования системы: энергетические (ток, напряжение, мощность, энергия генераторов и потребителей); техногенные (параметры техногенных циклов технологических процессов применения гелио-, ветро- и гидрогенераторов); экологические риски, способные проявить себя в горных условиях вследствие аномального изменения природных условий и окружающей обстановки.

Расчёт энергетических параметров (о чём подробнее было сказано ранее) дополняется их мониторингом. Если баланс мощностей и энергетический баланс выполняются, то система по этому признаку работает в нормальном режиме; если не выполняется, то следует принимать меры для достижения баланса мощностей и энергетического баланса: использование накопительных устройств, включение дополнительных генераторов, изменение параметров нагрузки и т.д.

В соответствии с алгоритмом при функционировании системы энергообеспечения на ВИЭ должны поддерживаться нормативные значения параметров техногенных циклов-генерации энергии от применяемых в системе преобразователей (солнечных батарей, гидро- ветрогенераторов), для этого следует проводить их периодический мониторинг с последующим анализом результатов и, при необходимости, применением соответствующих мероприятий для поддержания техногенных проявлений функционирования генераторов на должном – безопасном уровне.

Крайняя правая ветвь алгоритма относится к характеристике возможных аномальных природных проявлений (экологических рисков), последствия которых могут оказать негативное воздействие на работу системы. Мониторинг параметров состояния окружающей среды (температуры, влажности, скорости ветра и т.д.) и анализ возможности возникновения аномальных явлений позволят оценить реальную ситуацию (опасная, неопасная) и, при необходимости, принять соответствующие предупреждающие меры по предотвращению воздействия экологических рисков на систему.

Текущая информация по всем трём направлениям, характеризующим функционирование системы энергообеспечения на ВИЭ (энергетическое, техногенное, экологические риски), позволяет провести вероятностный анализ и прогнозирование ситуации на последующие этапы работы системы с учётом, в частности, сезонных изменений условий генерации и потребления энергии и климатических изменений природных условий.

Результаты текущего мониторинга природных факторов и ретроспективный анализ возникновения экологических рисков и возможных отклонений в работе системы энергообеспечения позволяют выработать необходимые рекомендации по сохранению устойчивой работы системы по надёжному и качественному энергоснабжению потребителей на основе использования ВИЭ.

Предложенная методология расчёта и организации автономного энергоснабжения индивидуальных объектов от ВИЭ в условиях горных территорий может быть использована для оптимизации и повышения устойчивости работы энергетических комплексов соответствующего типа как на стадии их проектирования, так и в процессе эксплуатации.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Безруких П.П. Состояние и перспективы развития возобновляемых источников энергии в России / П.П. Безруких, Д.С. Стребков // Малая энергетика. М.: ОАО "НИИЭС", 2008. № 4-5.
2. Энергетическая стратегия РФ на период до 2030 года / Распоряжение Правительства РФ от 13 ноября 2009 год № 1715-р.
3. Справочник по ресурсам ВИЭ России и местным видам топлива / П.П. Безруких [и др.] М.: ИАЦ Энергия, 2007. 397 с
4. Сидельников А. И. Разработка методики технико-экономического обоснования структуры и параметров энергокомплекса на базе возобновляемых источников энергии: дисс. на соискание учёной степени канд. техн. наук / А. И. Сидельников. М., 2003. 121 с.
5. Сидельников А. И. Результаты компьютерного моделирования совместной работы ВЭС, СЭС и ГЭС в составе энергокомплекса и на локального потребителя / А. И. Сидельников // XI Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» тез. докл. М.: МЭИ, 2003. С. 333-334.
6. Бреусов В. П. Потенциал возобновляемых источников энергии в Казахстане / В. П. Бреусов, Д. А. Кариёв, М. А. Ташимбетов // Возобновляемая энергетика-2003: состояние, проблемы, перспективы: сб. докладов межд. научн.-практ. конф. СПб.: Изд-во СПбГТТУ, 2003. 616 с. (С. 458–464).
7. Бреусов В. П. Комбинированное использование возобновляемых источников энергии – рациональное направление энергоресурсосберегающей политики в республике Казахстан / В. П. Бреусов, М. А. Ташимбетов // Промышленная энергетика. М., 2004. № 11. С. 53–55.
8. Шерязов С. К. Выбор рационального сочетания традиционных и возобновляемых энергоресурсов в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей (на примере Челябинской области) / С. К. Шерязов. Челябинск, 2010. 40 с.
9. Виссарионов В.И. Методика расчёта энергетического комплекса для тепло- и электроснабжения автономного потребителя на базе возобновляемых источников энергии / В.И. Виссарионов, А.Н. Дорошин // Вестник МЭИ. 2012. № 5 С. 52-58.
10. Попель О.С. Исследование и разработка систем энергоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии: дисс. на соискание учёной степени д-ра техн. наук / О.С. Попель. М., 2007, 314 с.
11. Климатические факторы возобновляемых источников энергии / В. В. Елистратов, Е. М. Аментьева, М. М. Борисенко и др. СПб.: Наука, 2010. 235 с.

12. Об опыте Свердловской области по внедрению возобновляемых источников энергии / В. П. Штагер, С. Е. Щеклеин, В. И. Велькин и др. // Энергетика региона. Екатеринбург, 2003. № 3. С. 58–61.

13. Опыт УГТУ по реализации проекта энергообеспечения удаленного объекта нетрадиционными и возобновляемыми источниками энергии / С. Е. Щеклеин, В. И. Велькин, Г. В. Тягунов // Тезисы докладов отчетной конференции по программе «Топливо и энергетика». М.: МЭИ, 2001. С. 93–96.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bezrukikh P. P. Sostojanie i perspektivy razvitiya vozobnovljaemykh istochnikov ehnergii v Rossii [The state and prospects of development of renewable energy sources in Russia] / P. P. Bezrukikh, D. S. Strebkov / P. P. Bezrukikh, D. S. Strebkov // Malaja ehnergetika [Distributed power engineering]. Moscow: JSC "NIIES", 2008. No. 4-5 [in Russian]

2. Ehnergeticheskaja strategija RF na period do 2030 goda [Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2030] / Rasporjazhenie Pravitel'stva RF ot 13 nojabrja 2009 god № 1715-r. [Order of the Government of the Russian Federation No. 1715-r dated November 13, 2009] [in Russian]

3. Spravochnik po resursam VIEh Rossii i mestnym vidam topliva [Handbook on RES resources of Russia and local types of fuel] / P. P. Bezrukikh [et al.] Moscow: IATs Energija, 2007. 397 p. [in Russian]

4. Sidelnikov A. I. Razrabotka metodiki tekhniko-ehkonomicheskogo obosnovanija struktury i parametrov ehnergokompleksa na baze vozobnovljaemykh istochnikov ehnergii [Development of a methodology for a feasibility study of the structure and parameters of an energy complex based on renewable energy sources]: Candidate's Thesis. Engineering / A. I. Sidelnikov. Moscow, 2003. 121 p. [in Russian]

5. Sidelnikov A. I. Rezul'taty komp'juternogo modelirovanija sovmestnoj raboty VEhS, SEhS i GEhS v sostave ehnergokompleksa i na lokal'nogo potrebitelja [The results of computer modeling of the joint operation of the wind farm, solar power plant and hydroelectric power plants as part of the energy complex and for the local consumer] / A. I. Sidelnikov // Mezhdunarodnaja nauchno-tekhnicheskaja konferencija studentov i aspirantov «Radioehlektronika, ehlektrotehnika i ehnergetika» [XI International Scientific and Technical Conference of students and postgraduates "Radioelectronics, electrical engineering and power engineering] Moscow: MEI, 2003, pp. 333-334 [in Russian]

6. Breusov V. P. Potencial vozobnovljaemykh istochnikov ehnergii v Kazakhstane [The potential of renewable energy sources in Kazakhstan] / V. P. Breusov, D. A. Kariev, M. A. Tashimbetov // Vozobnovljaemaja ehnergetika-2003: sostojanie, problemy, perspektivy: sb. dokladov mezhd. nauchn.-prakt. konf. [Renewable energy-2003: state, problems, prospects: collection of reports of international scientific and practical conference]. St. Petersburg: Publishing house of SPbGTTU, 2003. 616 p. (pp. 458-464) [in Russian]

7. Breusov V. P. Kombinirovannoe ispol'zovanie vozobnovljaemykh istochnikov ehnergii – racional'noe napravlenie ehnergoresursosberegajushhejj politiki v respublike Kazakhstan [Combined use of renewable energy sources – a rational direction of energy-saving policy in the Republic of Kazakhstan] / V. P. Breusov, M. A. Tashimbetov // Promyshlennaja ehnergetika [Industrial power engineering]. Moscow, 2004. No. 11, pp. 53-55 [in Russian]

8. Sheryazov S. K. Vybor racional'nogo sochetanija tradicionnykh i vozobnovljaemykh ehnergoresursov v sisteme ehnergosnabzhenija sel'skokhozhajstvennykh potrebitelej (na primere Cheljabinskoy oblasti) [The choice of a rational combination of traditional and renewable energy resources in the energy supply system of agricultural consumers (based on Chelyabinsk Oblast)] / S. K. Sheryazov. Chelyabinsk, 2010. 40 p. [in Russian]

9. Vissarionov V. I. Metodika raschjota ehnergeticheskogo kompleksa dlja teplo- i ehlektrosnabzhenija avtonomnogo potrebitelja na baze vozobnovljaemykh istochnikov ehnergii [Methodology for calculating the energy complex for heat and electricity supply to an autonomous consumer based on renewable energy sources] / V. I. Vissarionov, A. N. Doroshin // Vestnik MEI [Bulletin of MPEI]. 2012. No. 5, pp. 52-58 [in Russian]

10. Popel O. S. Issledovanie i razrabotka sistem ehnergosnabzhenija s ispol'zovaniem vozobnovljaemykh istochnikov ehnergii [Research and development of energy supply systems using renewable energy sources]: Doctor's Thesis. Engineering / O. S. Popel. Moscow, 2007, 314 p. [in Russian]

11. Klimaticheskie faktory vozobnovljaemykh istochnikov ehnergii [Climate factors of renewable energy sources] / V. V. Elistratov, E. M. Akentieva, M. M. Borisenko, N. V. Kobysheva, G. I. Sidorenko, V. V. Stadnik. Saint Petersburg: Nauka, 2010. 235 p. [in Russian]

12. Ob opyte Sverdlovskoj oblasti po vnedreniju vozobnovljaemykh istochnikov ehnergii [On the experience of the Sverdlovsk region on the introduction of renewable energy sources] / V. P. Stager, S. E. Shcheklein, V. I. Velkin, G. V. Tyagunov // Energetika regiona [Regional Energy]. Yekaterinburg, 2003. No. 3, pp. 58-61 [in Russian]

13. Opyt UGTU po realizacii proekta ehnergoobespechenija udalennogo ob"ekta netradicionnymi i vozobnovljaemymi istochnikami ehnergii [The experience of USTU in the implementation of the project of energy supply of a remote facility with non-traditional and renewable energy sources] / S. E. Shcheklein, V. I. Velkin, G. V. Tyagunov // Abstracts of reports of the reporting conference on the "Fuel and energy" program. Moscow: MEI, 2001, pp. 93-96 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.007>**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ЭКСПЛУАТАЦИИ РОБОТИЗИРОВАННОГО АГРОТЕХНИЧЕСКОГО АВТОМОБИЛЯ**

Научная статья

Понкратова А.С.¹, Орлов С.П.^{2,*}² ORCID: 0000-0002-0009-9456;^{1,2} Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

* Корреспондирующий автор (orlovsp1946[at]gmail.com)

Аннотация

В статье рассмотрена задача исследования эффективности организации технического обслуживания роботизированного автомобиля в зависимости от информации о вероятностных характеристиках событий отказов и дефектов оборудования. Предложена имитационная модель на основе стохастической раскрашенной сети Петри. Приведена общая структура модели и пример реализации модуля имитации процесса выполнения производственного задания, в котором задаются функции распределения вероятности отказов и запросов на прогнозное техническое обслуживание роботизированного автомобиля. Показано, что предлагаемый подход позволяет получить информацию для оценки параметров: остаточного ресурса автомобиля, времени до технического обслуживания, коэффициент простоя.

Ключевые слова: роботизированные автомобили, техническое обслуживание, имитационное моделирование, сети Петри.

SIMULATION MODEL OF THE OPERATION PROCESS OF AN AUTONOMOUS VEHICLE USED FOR AGRICULTURE

Research article

Ponkratova A.S.¹, Orlov S.P.^{2,*}² ORCID: 0000-0002-0009-9456;^{1,2} Samara State Technical University, Samara, Russia

* Corresponding author (orlovsp1946[at]gmail.com)

Abstract

The article examines the effectiveness of the organization of maintenance of an autonomous vehicle depending on the information about the probabilistic characteristics of equipment failure events and defects and proposes a simulation model based on a stochastic colored Petri net. The authors provide a general structure of the model and an example of the implementation of the module for simulating the process of performing a production task, in which the functions of the probability distribution of failures and requests for predictive maintenance of an autonomous vehicle are set. It is shown that the proposed approach allows for obtaining information for evaluating the parameters: the remaining resource of the vehicle, the time before maintenance, the downtime coefficient.

Keywords: autonomous vehicles, maintenance, simulation modeling, petri nets.

Введение

Создание роботизированных транспортных средств в настоящее время охватывает новые отрасли, в частности, сельскохозяйственное производство [1]. В Самарском государственном техническом университете в рамках федерального проекта по созданию роботизированной системы сельскохозяйственных автомобилей на базе семейства автомобилей КАМАЗ с автономным и дистанционным режимом управления были разработаны информационная система и цифровые двойники роботизированного автомобиля [2], [3].

Построение цифровых двойников агрегатов автомобиля базируется на использовании, как аналитических моделей, так и имитационных моделей, которые позволяют проверить различные сценарии выполнения производственных задач. Техническое обслуживание и ремонт роботизированного автомобиля – сложная организационная и техническая задача в силу большого числа узлов и компонентов, в том числе, и электронных приборов для системы технического зрения, измерительной системы и системы автономного управления движением. Существует ряд подходов к имитационному моделированию состояния автономных автомобилей [4], [5], [6]. Анализ существующих разработок показал, что использование стохастических раскрашенных сетей Петри обеспечивает ряд преимуществ, в первую очередь, возможность проведения статистических испытаний на модели [7], [8], [9].

В данной статье рассматривается имитационная модель на сети Петри, в которой учитываются следующие параметры роботизированного автомобиля (РА):

- остаточный ресурс,
- время до планового технического обслуживания,
- пробег автомобиля,
- вероятностные законы старения и износа деталей и узлов автомобиля,
- вероятностные законы появления отказов оборудования.

Модель производственной задачи для роботизированного агротехнического автомобиля

Временная раскрашенная сеть Петри *PN* описывается как [10]:

$$PN = (P, T, A, C, W, M_0), \quad (1)$$

где P и T - множество позиций и множество переходов сети, $A \subseteq P \times T \cup T \times P$ - множество направленных дуг, C - конечное множество цветов, W - выражения на дугах, позициях и переходах, M_0 - начальная разметка сети Петри.

Сети Петри вида (1) дают возможность строить иерархическую имитационную модель по технологии «Сверху вниз». Это значит, что вначале проектируется укрупненная структура модели, в которой каждый модуль представляет собой некоторый набор операций. Такой модуль называется подстановочным переходом, и его детальное содержание раскрывается при реализации сети Петри нижнего уровня.

В нашем случае на верхнем уровне общей имитационной модели рассматривается модель производственной задачи, представленная на рисунке 1. На рисунке 1 условные изображения для сети Петри имеют следующий смысл:

- вертикальные черные полосы обозначают элементарные переходы сети, имитирующие действия;
- прямоугольник RA - подстановочный переход, имеющий сложную внутреннюю структуру;
- кружки обозначают позиции сети Петри, содержащие условия для срабатывания переходов, а черные кружки в позициях соответствуют маркерам, перемещающимся по сети.

В начальный момент времени маркеры находятся в стартовой позиции P_{Start} и в позиции P_N , определяющей число циклов.

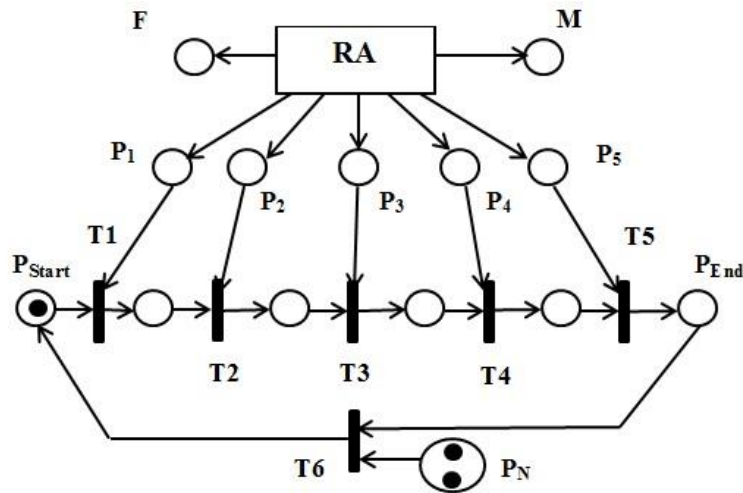


Рис. 1 – Имитационная модель производственной задачи для роботизированного автомобиля RA

Задача состоит из пяти основных операций, которые в сети Петри моделируются переходами: T1 и T5 – перемещение автомобиля по асфальтовым дорогам по направлению к точке выполнения технологической сельскохозяйственной операции, T2 и T4 – движение в полевых условиях при подходе и отходе от точки операции, T3 - непосредственное выполнение технологической операции, T6 – возврат на точку базирования роботизированного автомобиля. Позиции сети Петри P_{Start} и P_{End} обозначают начало и окончание производственной задачи; позиция P_N содержит N маркеров, число которых определяет количество повторений производственного цикла.

Основной переход RA в данной сети Петри является подстановочным переходом [10] и, в свою очередь, представляет собой сложную сеть Петри, которая контролирует временные параметры работы роботизированного автомобиля. Позиции P1 – P5 разрешают выполнение соответствующих операций в случае готовности RA. Если произошел отказ оборудования автомобиля, требующий ремонта (позиция F) или автомобиль выводится на техническое обслуживание (позиция M), то соответствующий переход для операции не срабатывает, и операция приостанавливается.

Имитационная модель временных параметров автомобиля и процессов износа и старения компонентов

Роботизированный автомобиль описывается набором цветов, каждый из которых соответствует определенному параметру, задаваемому в векторе U :

$$U = \{id, md, rt, rl, mt, ti, ta\}, \quad (2)$$

где id – номер автомобиля, md – модель автомобиля, rt – время наработки после последнего технического обслуживания, rl – остаточный ресурс, mt - период до планового технического обслуживания, ti – начало периода эксплуатации, ta – суммарное время наработки автомобиля.

На рисунке 2 приведена стохастическая раскрашенная сеть Петри, которая соответствует подстановочному переходу RA на рисунке 1. Эта сеть включает следующие компоненты.

1. Позиция RU с набором цветов U , сформированным в соответствии с выражением (2), имитирует роботизированный автомобиль в процессе эксплуатации.

2. Внутренний таймер модельного времени образован переходом T1 и позициями Time1, Time2 и time. Позиция Lock обозначает условие остановки работы RA. В нашем случае принято, что в данной сети Петри единица модельного времени равна 2 часам.

3. Переходы T2 и T3 служат для анализа модельного времени n таймера и сравнения его с параметрами в векторе U автомобиля.

Если $n \geq r1$, то остаточный ресурс роботизированного автомобиля исчерпан и он должен выводиться на капитальный ремонт.

Если $n \geq mt$, то наступил момент планового технического обслуживания.

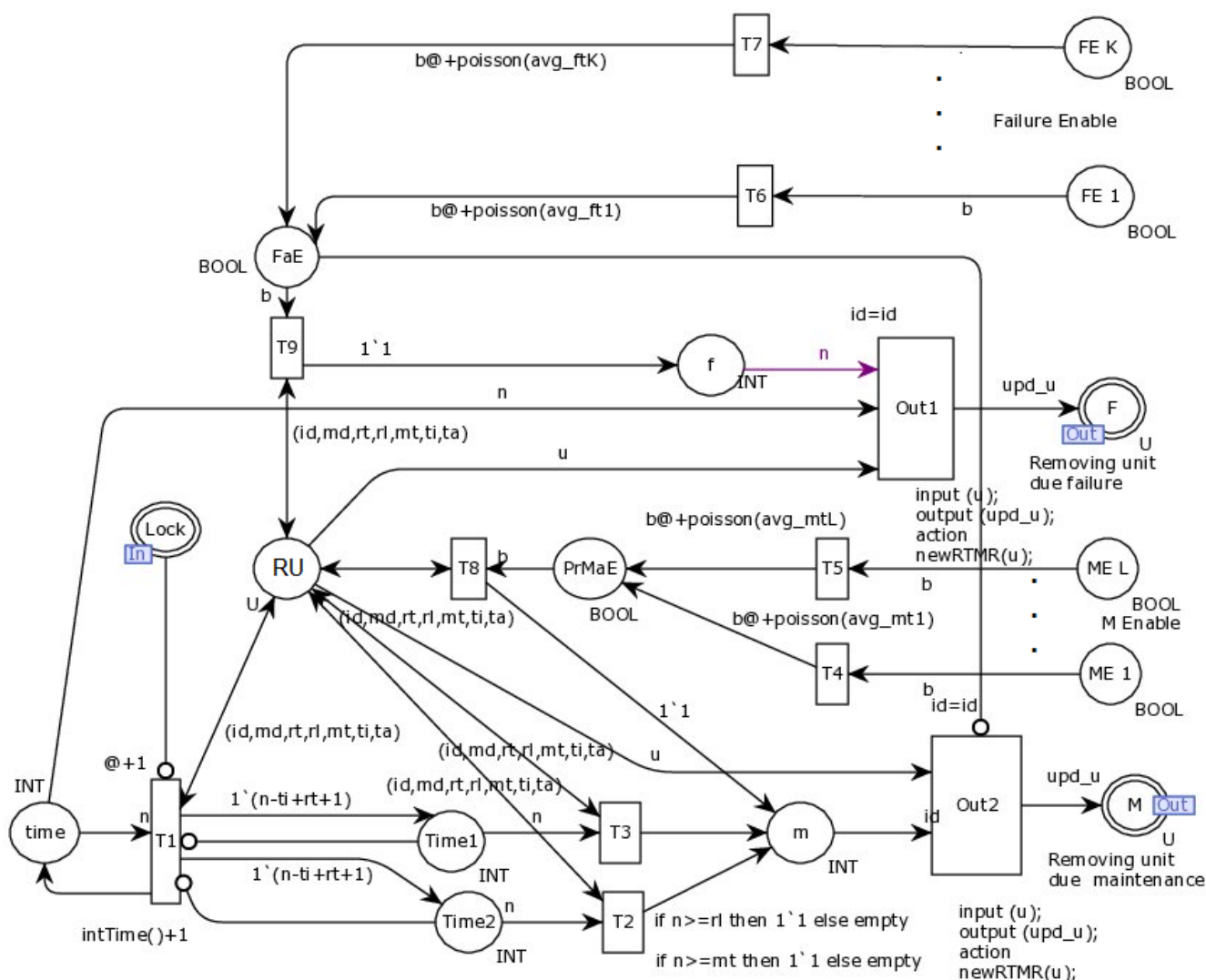


Рис. 2 – Имитационная модель роботизированного автомобиля, реализованная в программе CPN Tools

4. Блок переходов и позиций, имитирующих появление отказов и запросов на прогнозное техническое обслуживание. Для этого на выходных дугах переходов T4 и T5 генерируются события запросов на обслуживание, что приводит к выводу роботизированного автомобиля в позицию M. Аналогично, на выходных дугах переходов T6 и T7 имитируются моменты отказов в RA, что приводит к выводу их на ремонт в позицию F. Количество одновременно генерируемых случайных событий отказов или обслуживания принималось не больше 5. В модели использованы пуассоновские законы с заданными значениями интенсивностей для имитации случайных событий.

Эксперименты на имитационной модели

Имитационное моделирование проводилось с использованием пакета программ CPN Tools [11], в котором есть средства для построения достаточно сложных временных раскрашенных сетей Петри. Достоинством данного пакета является также возможность имитации различных случайных величин, имеющих функции распределения по законам Пуассона, Вейбулла, Стюдента, Гамма, нормальному закону и др.

Определение параметров вероятностных распределений отказов или пред аварийных состояний выполнялось с использованием матриц пред отказных состояний для шасси КАМАЗ 65111 [12]. Данные о старении и износе компонентов автомобиля были получены в процессе полевых испытаний опытных образцов роботизированных автомобилей.

На имитационной модели проверялись различные сценарии при разных длительностях операций, интенсивностях отказов и запросов на прогнозное обслуживание и времени перемещения автомобилей. Статистический эксперимент проводился для 1000 реализаций с периодом эксплуатации до 100 000 часов.

Основные характеристики, которые формировались в ходе имитационного эксперимента:

- время превышения планового срока выполнения производственной задачи;
- коэффициент простоя роботизированного автомобиля;
- снижение или увеличение остаточного ресурса роботизированного автомобиля при различных сценариях;
- эффективность технического обслуживания, выраженная в коэффициенте простоя роботизированного автомобиля.

Заключение

В результате исследований разработана методика имитационного моделирования процесса эксплуатации роботизированного автомобиля, цель которой заключается в определении эффективной организации сервисного обслуживания системы сельскохозяйственных автономных транспортных средств. Основной акцент сделан на управление остаточным ресурсом автомобиля при учете процессов старения и износа его компонентов и узлов.

Имитационная модель построена на основе стохастической временной раскрашенной сети Петри, что дает возможность исследовать влияние различных факторов на характеристики ремонтпригодности и надежности автомобиля. Модель имеет иерархическую структуру и может развиваться при дополнении подмоделями, выполненными также в виде сетей Петри соответствующих классов.

Проведение статистического эксперимента по имитации процесса выполнения производственных задач обеспечивает разработчиков роботизированных автомобилей информацией о перспективных технических и организационных решениях в области технического обслуживания и ремонта.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках соглашения № 075-15-2019-1364. Проект RFMEFI57718X0286.

Funding

The Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation supported this research in the framework of the financial agreement № 075-15-2019-1364. Project unique identifier - RFMEFI57718X0286.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Emmi L. New Trends in Robotics for Agriculture: Integration and Assessment of a Real Fleet of Robots / L. Emmi L., M. Gonzalez-de-Soto, G. Pajares et al. // The Scientific World Journal. - 2014. - Vol. 2014. - Article ID 404059. 21 p.
2. Orlov S.P. Intelligent Diagnostic System of Ro-botic KAMAZ Vehicle's Units / S.P. Orlov, S.V. Susarev, A.I. Pugachev // Proc. of the 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). Samara, 3-6 Sept. 2019, Russia). - IEEE Xplore, 2020. - P. 307-310.
3. Susarev S.V. Digital tests of the robotic chassis' cyber-physical system for agricultural unmanned vehicle / S.V. Susarev, S.P. Orlov, A.S. Morev et al. // J. Physics: Conf. Ser. - 2019. - Vol. 1399, 044032.
4. Schulte P. Z. On-Board model-based fault diagnosis for autonomous proximity operations / P.Z. Schulte, D.A. Spenser // Proceedings of the 69th International Astronautical Congress (IAC), Bremen, Germany, 1-5 October 2018). IAC-18-C1.5.11x45016. - 2018. - P. 1-15.
5. Шмелев А. В. Основы методики виртуального моделирования испытаний кабин грузовых автомобилей по требованиям пассивной безопасности / А.В. Шмелев, Э.В. Лисовский, В.С. Короткий // Механика машин, механизмов и материалов. - 2015. - № 3 (32). - С.64–72.
6. Рыбаков В.Н. Концепция построения виртуальной лаборатории испытаний ГТД / В.Н. Рыбаков, В.С. Кузьмичев, А.Ю. Ткаченко // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. - 2011. - № 3(27). - С. 326-331.
7. Baruwa, O.T. A coloured Petri net-based hybrid heuristic search approach to simultaneous scheduling of machines and automated guided vehicles / O.T. Baruwa, M.A. Pira // Int. J. Prod. Res. - 2016. - Vol. 54. - P. 4773–4792.
8. Hamroun A. Modelling and Performance Analysis of Electric Car-Sharing Systems Using Petri Nets / A. Hamroun, K. Labadi, M. Lazri // E3S Web Conf. - 2020. - Vol. 170, 03001.
9. Orlov S.P. Application of Hierarchical Colored Petri Nets for Technological Facilities' Maintenance Process Evaluation / S.P. Orlov, S.V. Susarev, R.A. Uchaikin // Applied Sciences. - 2021. - Vol. 11. - No. 11. - 5100.
10. Jensen K. Coloured Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems / K. Jensen, M. Kristensen. - Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2009.
11. CPN Tools. - [Electronic resource]. - URL: <http://cpntools.org/2018/01/15/windows/> (accessed 20.05. 2021).
12. Susarev S. V. Use of Previous Conditions Matrixes for the Vehicle on the Basis of Operational Information and Dynamic Models of Systems, Nodes and Units / S.V. Susarev, S.P. Orlov, A.S. Morev et al. // Proc. of the 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). - IEEE, 2019. - P. 0514-0519.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Emmi L. New Trends in Robotics for Agriculture: Integration and Assessment of a Real Fleet of Robots / L. Emmi L., M. Gonzalez-de-Soto, G. Pajares et al. // The Scientific World Journal. - 2014. - Vol. 2014. - Article ID 404059. 21 p.
2. Orlov S.P. Intelligent Diagnostic System of Ro-botic KAMAZ Vehicle's Units / S.P. Orlov, S.V. Susarev, A.I. Pugachev // Proc. of the 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). Samara, 3-6 Sept. 2019, Russia). - IEEE Xplore, 2020. - P. 307-310.
3. Susarev S.V. Digital tests of the robotic chassis' cyber-physical system for agricultural unmanned vehicle / S.V. Susarev, S.P. Orlov, A.S. Morev et al. // J. Physics: Conf. Ser. - 2019. - Vol. 1399, 044032.
4. Schulte P. Z. On-Board model-based fault diagnosis for autonomous proximity operations / P.Z. Schulte, D.A. Spenser // Proceedings of the 69th International Astronautical Congress (IAC), Bremen, Germany, 1-5 October 2018). IAC-18-C1.5.11x45016. - 2018. - P. 1-15.
5. Shmelev A.V. Osnovy metodiki virtualnogo modelirovaniia ispytaniy kabin gruzovykh avtomobilei po trebovaniim passivnoi bezopasnosti [Fundamentals of the methodology for virtual simulation of testing cabins of trucks according to passive safety requirements] / A.V. Shmelev, E.V. Lisovskii, V S Korotkii // Mekhanika mashin mekhanizmov i materialov [Mechanics of machines, mechanisms and materials]. - 2015. - № 3 (32). - P. 64–72. [in Russian].

6. Rybakov V.N. Kontsepsiia postroeniia virtualnoi laboratorii ispytanii GTD [The concept of building a virtual laboratory for testing a gas turbine engine]/V.N. Rybakov, V. S. Kuzmichev, A. Iu. Tkachenko // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta [Samara State Aerospace University Bulletin]. - 2011. - № 3(27). - P. 326-331. [in Russian].
7. Baruwa, O.T. A coloured Petri net-based hybrid heuristic search approach to simultaneous scheduling of machines and automated guided vehicles / O.T. Baruwa, M.A. Piera // Int. J. Prod. Res. – 2016. – Vol. 54. – P. 4773–4792.
8. Hamroun A. Modelling and Performance Analysis of Electric Car-Sharing Systems Using Petri Nets / A. Hamroun, K. Labadi, M. Lazri // E3S Web Conf. - 2020. - Vol. 170, 03001.
9. Orlov S.P. Application of Hierarchical Colored Petri Nets for Technological Facilities' Maintenance Process Evaluation / S.P. Orlov, S.V. Susarev, R.A. Uchaikin // Applied Sciences. - 2021. - Vol. 11. - No. 11. - 5100.
10. Jensen K. Coloured Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems / K. Jensen, M. Kristensen. - Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2009.
11. CPN Tools. – [Electronic resource]. – URL: <http://cpntools.org/2018/01/15/windows/> (accessed 20.05. 2021).
12. Susarev S. V. Use of Previous Conditions Matrixes for the Vehicle on the Basis of Operational Information and Dynamic Models of Systems, Nodes and Units / S.V. Susarev, S.P. Orlov, A.S. Morev et al. // Proc. of the 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). - IEEE, 2019. – P. 0514-0519.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.008>**МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ КАВИТАЦИОННОЙ ЭРОЗИИ**

Обзорная статья

Таранов Д.К.^{1,*}, Федюк Р.С.²¹ ORCID: 0000-0002-9902-7275;² ORCID: 0000-0002-2279-1240;^{1,2} Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

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

Аннотация

Актуальной задачей гидротехнических сооружений остается обеспечение кавитационной безопасности. На практике известно, что многие гидротехнические сооружения в процессе эксплуатации выходят из строя раньше установленного срока из-за недостаточной стойкости бетонных и железобетонных конструкций к агрессивной среде. Методы защиты гидросооружений от воздействия кавитации условно разделяются на три группы: недопущения возникновения кавитации; воздействия на структуру потока; обеспечения кавитационной стойкости облицовки конструкций. В статье рассмотрены некоторые из этих методов, и решения позволяющие уменьшить влияния кавитационной эрозии. Проблема негативного влияния кавитации на гидротехнические сооружения является до сих пор не решенной. В научной литературе рассмотрено обширное количество методов борьбы с негативными воздействиями кавитации. Тем не менее проведя анализ как отечественной, так и зарубежной литературы данная проблема остается недостаточно освещенной.

Ключевые слова: кавитация, бетон, эрозия бетона, гидротехнические сооружения.

METHODS OF PROTECTION AGAINST CAVITATION EROSION

Review article

Taranov D.K.^{1,*}, Fedjuk R.S.²¹ ORCID: 0000-0002-9902-7275;² ORCID: 0000-0002-2279-1240;^{1,2} Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

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

Abstract

Ensuring cavitation safety remains a relevant task in relation to hydraulic structures. In practice, it is known that many hydraulic structures during operation fail before the deadline due to insufficient resistance of concrete and reinforced concrete structures to aggressive environments. Methods of protecting hydraulic structures from the effects of cavitation are divided into three groups: preventing the occurrence of cavitation; affecting the flow structure; ensuring cavitation resistance of the lining of structures. The article discusses some of these methods and solutions that reduce the effects of cavitation erosion. However, the problem of the negative impact of cavitation on hydraulic structures has still yet to be solved. An extensive number of methods for combating the negative effects of cavitation is considered in the scientific literature. Nevertheless, after analyzing both domestic and foreign literature, this problem remains insufficiently covered.

Keywords: cavitation, concrete, concrete erosion, hydraulic structures.

Введение

Планируемый рост электропотребления к 2035 году увеличится на 18-25 % до 1310-1380 млрд. кВт·ч в зоне централизованного энергоснабжения, в том числе за счет электрификации железнодорожного транспорта и распространения электромобилей. Выработка электрической энергии гидроэлектростанциями с 2008 года по 2018 год увеличилась на 15,8 процента и продолжает расти. Доля гидроэлектростанций, включая гидроаккумулирующие электростанции, в структуре генерирующих мощностей составляет около 20 процентов. Гидроэнергетический потенциал Российской Федерации составляет около 9 процентов мирового потенциала и обеспечивает масштабные возможности развития гидроэнергетики [1].

Водосливы и водосборные бассейны являются важными конструкциями, гарантирующими безопасность гидротехнического сооружения, поскольку они сбрасывают требуемые расходы. Неисправность этих конструкций, будь то из-за ошибки в эксплуатации или отсутствия технического обслуживания, может привести к несчастным случаям, которые могут повлечь за собой полное разрушение гидротехнического сооружения. Одна из причин выхода из строя этих конструкций - неисправность из-за эрозии бетона. Среди возможных причин эрозии можно выделить две: кавитационная эрозия и эрозия водной смеси, насыщенной твердыми частицами.

Основная часть

Кавитацией (от латинского *cavitas* пустота) называют процесс нарушения сплошности жидкости под действием изменяющегося давления. Другими словами, в воде образуются полости (пузырьки), заполненные паром. Ее возникновение связано с уменьшением давления в воде ниже критического значения, которое в свою очередь приблизительно равно давлению насыщенного пара при данной температуре воды. Кавитацию изучают в различных отраслях науки и техники в целях защиты от нее или для полезного применения.

Методы защиты гидросооружений от воздействия кавитации условно разделяются на три группы: недопущения возникновения кавитации; воздействия на структуру потока; обеспечения кавитационной стойкости облицовки водосбросов.

Один из методов защиты от кавитации обеспечивает надежность работы водосбросных сооружений путем устройства защитных облицовок с повышенной кавитационной стойкостью. Повышение марки бетона, улучшение технологии его приготовления, укладки и ухода за ним в процессе набора прочности увеличивает его сопротивляемость кавитационной эрозии в десятки раз. Широко применяют также новые типы строительных материалов, имеющих высокую кавитационную стойкость: цементные бетоны с добавками полимерных материалов (эпоксидная смола, латекс и др.); полимербетоны и полимер растворы, в которых в качестве вяжущего используется эпоксидная смола, тиокол и другие материалы; окрасочные и штукатурные полимерные покрытия (в том числе армированные стеклотканью). В наиболее ответственных сооружениях или в отдельных узлах, например в камерах высоконапорных затворов и спиральных камерах для облицовки бетона применяется сталь.

Изменение давления в воде происходит при обтекании потоком элементов водопропускных сооружений, неровностей на поверхности водосливов или напорных водоводов, гасителей энергии на водобое, пазов затворов, входных оголовков глубинных водосбросов и др. Обтекание таких элементов происходит как правило с отрывом потока от их поверхности и образованием вихревых зон – зон отрыва.

Мельчайшие газовые пузырьки, которые всегда имеются в воде, попадая в зону пониженного давления, начинают резко увеличиваться. Это приводит к быстрому уменьшению давления внутри их, к испарению (вскипанию) воды и увеличению давления до давления насыщенных паров. Пузырьки переносятся потоком воды в зону более высокого давления, где происходит конденсация пара и захлопывание (разрушение) пузырьков. Захлопывание пузырьков сопровождается значительным ударным, а также химическим и электрическим, воздействием и слабым радиоактивным излучением. Весь процесс увеличения и захлопывания пузырьков происходит в течение нескольких миллисекунд, пузырьки в зоне отрыва появляются один за другим настолько быстро, что зрительно воспринимаются одной каверной. Давление внутри пузырьков и в воде достигает сотен МПа, а температура нескольких тысяч градусов, что вызывает распад молекул воды и образование радикалов с высокой химической активностью. Соприкосновение облака кавитационных пузырьков, заполняющих область зоны отрыва, с твердой поверхностью вызывает ее разрушение кавитационную эрозию. Основной причиной кавитационной эрозии бетона и металла являются ударные импульсы, однако температурные и иные воздействия также могут играть существенную роль в механизме их разрушения [2].

Из многочисленных статей как отечественных, так и зарубежных авторов просматривается схожая картина эрозии гидротехнических сооружений [3], [4], [5], [6]. Например, из представленной серии гидротехнических сооружений, подвергшихся эрозии, видно, что 55,7% поверхностей были разрушены действием водной смеси, насыщенной твердыми частицами, 25,3% - совместным действием водной смеси, насыщенной твердыми частицами и кавитацией, 15,2% за счет кавитации и 1,3% за счет химического воздействия [6].

В гидравлических системах эффекты кавитации практически всегда негативны. Существуют пять основных проблем, создаваемых явлением кавитации: шум, вибрации, колебания давления, эрозия и потеря эффективности. Эти отрицательные аспекты увеличивают как частоту операций по техническому обслуживанию, так и затраты на ремонт компонентов, что, в свою очередь, снижает возможности производства энергии на предприятиях.

Кавитация является самой разрушительной среди возможных причин эрозии гидротехнических сооружений. Влияние водной смеси, насыщенной твердыми частицами, также является актуальной проблемой, но остается более предсказуемой по своей структуре.

Эрозия из-за кавитации может начаться из-за недостаточной обработки поверхностей или из-за наличия структурных элементов, таких как стыки между блоками. Причем кавитация может образовываться и при наличии смещений, поперечных канавок или выступающих стыков, возникших в результате ненадлежащих бетонных работ.

Каждый тип процесса эрозии имеет свое происхождение, принципы функционирования и, следовательно, разные последствия. Основным источником кавитационной эрозии являются волновые удары с величиной давления выше 69 МПа и микроструи со скоростью выше 100 м / с, которые возникают во время схлопывания пузырьков [10], [11]. Если эрозия от кавитации возникает, когда пузыри схлопываются перпендикулярно бетонной поверхности, она становится шероховатой. Между тем, эрозия водной смесью, насыщенной твердыми частицами, происходит из-за удара частиц, когда угол между поверхностью и направлением частиц меньше 90°, вызывая гладкие поверхности. Масштаб ущерба для каждого типа эрозии также различается. Кавитация вызывает серьезные повреждения в краткосрочной перспективе из-за величины сил, в то время как эрозионное воздействие частиц становится тяжелыми в долгосрочной. В обоих случаях наблюдается тенденция к удалению заполнителей из цементного раствора.

Согласно характеристикам эрозии в хрупком материале, таком как бетон, только путем экспериментальных исследований можно оценить и обнаружить повреждение, а также определить параметры корреляции между степенью эрозии и условиями потока. Таким образом, важно охарактеризовать состав и сопротивление бетона, который будет использоваться в водосбросе или в устройствах гашения потока.

Результаты, представленные рабочей группой во главе Branco R, подтверждают, что кавитация является наиболее разрушительным процессом эрозии. Тем не менее, это может привести к мысли, что эрозия, вызванная смесью воды и твердого вещества, может быть незначительной. Сама кавитация может вызвать высокое давление и трещины вокруг отдельных кусков заполнителя, уносимые потоком, вызывая эрозию под воздействием твердых частиц. По мере продолжения эрозии от высокоскоростного потока арматурные стержни могут обнажиться. Прутки могут начать вибрировать, что может привести к механическому повреждению поверхности. Оба явления серьезные, но у каждого есть свои конкретные физические процессы, его последствия, следы и масштабы во времени и пространстве также различны, но эти различия не делают ни одно из них менее важным. Кавитация приводит к почти мгновенным последствиям, но она уже хорошо изучена и имеет множество инструментов для уменьшения ее возникновения, например, аэрацию потока. Эрозия под воздействием твердых частиц обычно вызывает серьезные повреждения в долгосрочной перспективе, но, поскольку гидротехнические сооружения, построенные в прошлом, показывают признаки разрушения, необходимо принимать решения, чтобы избежать проблем с безопасностью гидротехнических сооружений. Тем более, оба процесса могут происходить одновременно, увеличивая эрозионное повреждение [15].

Один из самых эффективных способов защиты от кавитации, известный уже долгое время — это придание конструкциям особой формы, обеспечивающей безотрывное обтекание её потоком. Например, водосливам придается плавный профиль параболического или близкого к нему очертания. Такой способ, достаточно трудоемок из-за сложности изготовления и установки специальной опалубки, а также соблюдения определенного гидравлического режима.

Повышенной кавитационной стойкостью обладают мелкозернистые бетоны. Негативно влияет попеременное замораживание и оттаивание из-за возникновения микротрещин на поверхности.

Существенное влияние на кавитационную стойкость оказывает применение полимербетонов.

Одним из методов борьбы с кавитацией является применение покрытий и мембран. Испытания на эрозию с высоким напором проводились с использованием как полиуретановых, так и неопреновых покрытий [16]. Оба покрытия показали хорошую стойкость к истиранию и кавитации. Проблема с подобными гибкими покрытиями заключается в их сцеплении с бетонными поверхностями. После того, как край или часть покрытия оторваны от поверхности, все покрытие может быть довольно быстро снято с помощью гидравлической силы.

Торкретирование широко используется при ремонте или строительстве зарубежных гидротехнических сооружений. Этот метод позволяет производить заливку бетона без использования опалубки, также можно производить ремонт в очень ограниченном пространстве. Помимо обычного торкретбетона, используются модифицированные бетоны, такие как торкретбетон, армированный фиброй, полимерный торкретбетон и микрокремнезем, что еще сильнее позволяет улучшить устойчивость к эрозии.

Лабораторные испытания показали, что добавление в бетонную смесь соответствующего количества дымчатого кремнезема и высокодисперсных водоредуцирующих добавок значительно повышает их прочность на сжатие. Что, в свою очередь, увеличивает стойкость к истиранию и эрозии [17]. В результате этих испытаний бетоны, содержащие микрокремнезем, были использованы Инженерным корпусом армии США для ремонта абразивно-эрозионных повреждений в успокоительном бассейне плотины Кинзуа и в бетонной облицовке канала с низким расходом Реки Лос-Анджелес [19]. Несмотря на неблагоприятные условия воздействия, особенно на плотине Кинзуа, кварцевый бетон по-прежнему демонстрирует отличную стойкость к абразивной эрозии. Пары кремнезема обладают потенциалом для улучшения многих свойств бетона. Однако очень высокая прочность на сжатие и, как следствие, повышение стойкости к истиранию и эрозии особенно полезны при ремонте гидротехнических сооружений. Бетон из дымчатого кремнезема следует рассматривать при ремонте участков, подверженных истиранию и эрозии, особенно в тех областях, где доступный заполнитель в противном случае может быть неприемлемым.

Устройство щелей для аэрации — это не только решение при проектировании нового объекта, но часто очень подходящее ремонтное дополнение к конструкции, испытывающей повреждения вследствие кавитационной эрозии. Структурная реставрация и добавление щелей для вентиляции использовались при ремонте нескольких зарубежных гидротехнических объектов. Добавление щелей для аэрации, вероятно, значительно снижает пропускную способность конструкции из-за дополнительного объема увлеченного воздуха.

Отечественные авторы останавливаются на выравнивании поверхностей водопропускных трактов. Однако, это можно считать временной мерой, поскольку мелкие частицы и открытые поверхности водосливных плотин, особенно в суровых климатических условиях подвержены эрозии, сводящей со временем на нет эффективность выравнивания. Более надёжным является применение бетонов с повышенной кавитационной стойкостью, к которым относятся бетоны с повышенной маркой прочности на мелком заполнителе. Недостатком этого способа является его дороговизна. Одним из часто используемых способов, который при правильном применении оказывается наиболее эффективным и наиболее дешёвым, является подвод воздуха в область вакуума. Наибольший эффект даёт сочетание этих трёх способов, что приводится в большом количестве статей [22], [23].

При общем положительном влиянии аэраторов на кавитационную обстановку, следует отметить увеличение кавитационной опасности при работе водосброса в режиме истечения из-под затвора. Это связано с тем, что при сходе потока с трамплина-аэратора поток на довольно большом расстоянии (тем больше, чем тоньше струя) отрывается от водосливной поверхности. На этом участке нижняя поверхность потока контактирует с воздухом, который вовлекается в движение в виде спутной струи со скоростью, мало отличающейся от скорости воды на контакте с водяным потоком. Вследствие этого резко замедляется процесс турбулизации потока и его способность к самоаэрации. Это снижает сопротивляемость тонких потоков процессам кавитации. По этой причине желательно избегать режимов работы с истечением из-под затвора.

В литературе можно найти применение противокавитационных покрытий бетона, представляющих прикрепленный к стенке водовода защитный слой из упругого материала, отличающийся тем, что с целью повышения надежности работы, защитный слой выполнен из пустотелых торообразных элементов с кольцевым разрезом по внешней их поверхности, причем прикрепление элементов к стенке водовода осуществлено посредством омоноличивания их с бетоном стенки. Как известно, упругие материалы очень хорошо противостоят кавитационной эрозии, но их применение сдерживает отсутствие надежного метода закрепления этих материалов, предотвращающих их отслоение от бетона [24].

Значимый эффект дает нанесение защитных покрытий. Исследования Тбилисского НИИ демонстрируют положительный результат от нанесения защитных покрытий из некоторых полимеров, например эпоксидной смолы, в том числе модифицированной тиоколом. Однако сама эпоксидная смола не имеет достаточной кавитационной стойкости. Поэтому был предложен способ производства покрытия из полиэтилена дублированного путем каландрирования или прессования с текстилем, например фланелью. Установлено, что предпочтительным методом является прессование, а дублирование полиэтилена необходимо для возможности крепления его к поверхности бетона или металла. В качестве адгезива используют эпоксидную (лучше эпоксидно-тиоколовую) смолу, которую наносят на поверхность материала, затем наносят дублированный ПЭ и закрепляют прижимными устройствами. Полиэтилен имеет

более высокую стойкость к кавитационному разрушению, чем эпоксидная смола, вследствие чего сами поверхности материалов эффективнее защищаются от кавитационного разрушения [28].

Разработано большое количество полимербетонных смесей, включающих в себя эпоксидную смолу, отвердитель, пластификатор и наполнители с разным удельным весом. У данных смесей в зависимости от процентного соотношения компонентов прослеживаются как положительное, так и отрицательное влияние, например, невысокая адгезия в защищаемой поверхности [29].

Заключение

Отечественными и зарубежными авторами написано много научных работ по изучению эффекта кавитации. Однако проблема эрозии, связанной с ней, остается актуальной. Самой популярной мерой защиты до сих пор остается выравнивание поверхностей водопропускных трактов, но это можно считать только временной мерой. Применение других методов защиты практически не прослеживается на практике, что только подтверждает необходимость проведения дополнительных исследований в данном направлении.

Актуальным является разработка руководящих документов по безопасности плотин с включенной в нее необходимости стандартизированных испытаний на эрозию для бетонов, которые будут использоваться на подверженных участках. Это поможет создать условия, гарантирующие долгосрочное и хорошее функционирование гидротехнических сооружений. Для этого требуется провести испытания различных составов бетона, а также различные скорости вращения, концентрации и типы твердых частиц, поскольку они зависят от характеристик бассейна, в котором построено сооружение.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. №1523-р «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года»
2. Рассказов Л. Н. Гидротехнические сооружения. Часть 1. Учебник для вузов / Л. Н. Рассказов, В. Г. Орехов, Н.А. Анискин и др. – Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 576 с.
3. Абилов, Р. С. Исследование противокавитационное мероприятия и совершенствование новой конструкции растекателя / Р. С. Абилов // American Scientific Journal. – 2020. – № 39-2(39). – С. 14-17.
4. Оценка состояния и рекомендации по эксплуатации водосбросных сооружений Токтогульской и Курпсайской ГЭС / А. Р. Худайбердиев, Г. А. Смоленцева, Н. П. Лавров [и др.] // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 1. – С. 36-42.
5. Омелянюк, М. В. Очистка гидротехнических сооружений от обрастаний и наслоений / М. В. Омелянюк // Гидротехническое строительство. – 2013. – № 5. – С. 13-17.
6. TATRO, S. B. Compendium of Case Histories on Repair of Erosion-Damaged Concrete in Hydraulic Structures. Reported by ACI Committee 210 / S. B. TATRO // ACI manual practice. 1999.
7. Falvey, H.T. (1990). "Cavitation in chutes and spillways" / H.T. Falvey. USBR.145 p.
8. Безруков, Е. А. Кавитация как причина разрушения бетонных гидротехнических сооружений / Е. А. Безруков // Форум молодых ученых. – 2020. – № 8(48). – С. 25-31.
9. Ващенко, А. В. Вредные последствия кавитации и методы борьбы с ней / А. В. Ващенко, Е. В. Каримулина, А. А. Анкудинов // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство : Сборник научных статей по итогам девятой международной научной конференции, Казань, 31 октября 2019 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ", 2019. – С. 113-114.
10. Tullis, J. P. Hydraulics of pipelines – pumps, valves, cavitation, transients / J. P. Tullis, 1. Ed. Ed. John Wiley and Sons, 1989. 266p.
11. Knapp, R.T. Cavitation / R.T. Knapp, J.W. Daily, F.G. Hammitt. 1 ed. MacGraw-Hill, 1970. 578 p.
12. Zhang, R.Z. Synthesis of hydrophobic fluorinated polyurethanes and their properties of resistance to cavitation and wear / R.Z. Zhang, Y.Y. Ren, D.K. Yan et al. // Prog. Organic Coat., 104, 11-19.
13. Wang X. Prototype observation and influencing factors of environmental vibration induced by flood discharge / X. Wang, Y. A. Hu, S. Z. Luo // Water Science and Engineering, 10(1), 78–85.
14. Tomov P. Experimental study of aerated cavitation in a horizontal venturi nozzle / P. Tomov, S. Khelladi, F. Ravelet et al. // Experimental Thermal and Fluid Science, 70, 85–95.
15. Branco, R. The Importance of Erosion Concrete Tests for Hydraulic Surfaces / Branco, R., L. Fais, A. L. S. S. Matim et al. 2018.
16. Houghton, D.L. Cavitation Resistance of Some Special Concretes / D.L. Houghton, O.E. Borge, J.H. Paxton // ACI Journal, Proceedings, V. 75, No. 12, pp. 664-667.
17. Holland, Terence C. Abrasion-Erosion Evaluation of Concrete Mixtures for Stilling Basin Repairs / C. Holland, Terence, Kinzua Dam, Pennsylvania," Miscellaneous Paper No. SL-83-16, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, 1983
18. Абдылдаев, М. Ю. Истечение струи жидкости, вытекающей из отверстия с кавитацией / М. Ю. Абдылдаев, К. Ч. Токонбекова, у. Д. Медетбек // Вестник Жалал-Абадского государственного университета. – 2019. – № 3(42). – С. 137-143.
19. Holland, T.C. Erosion Resistance with Silica-Fume Concrete / T.C. Holland, R.A. Gutschow // Concrete International, V. 9, No. 3, American Concrete Institute, Detroit, 1987.

20. Wang, X. Test on abrasion resistance and deformation characteristics of top seal of high head valve / X. Wang, Y. A. Hu, X. J. Yan, // Engineering Mechanics, 35, 349–354.
21. Lu, X. Experimental Investigation on the cavitation erosion properties of concrete with different damage degrees under ultrasonic cavitation / X. Lu, J. Chen, L. Pei, Z. Wu // EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-1917.
22. Рекомендации по предупреждению кавитационной эрозии бетона на примере водосброса № 2 Богучанской ГЭС / А. П. Гурьев, Н. В. Ханов, В. А. Фартуков [и др.] // Природообустройство. – 2019. – № 4. – С. 69-77. – DOI 10.34677/1997-6011/2019-4-69-77.
23. Семенов В.М. Водосливная плотина с аэрацией сбросного потока / В.М. Семенов, Л.Д. Лентяев // Гидротехническое строительство. – 1973. – № 5. – С. 80-85.
24. Авторское свидетельство № 1168657 А1 СССР, МПК E02B 9/06. Противокавитационное покрытие бетонного водовода : № 3724927 : заявл. 24.02.1984 : опубл. 23.07.1985 / С. П. Фетисов, Н. А. Елисеев ; заявитель Сибирский филиал всесоюзного ордена трудового красного знамени научно исследовательского гидротехники им. Б. Е. Веднеева.
25. CFD methods for cavitation modeling in centrifugal and axial pumps of LRE / A. S. Torgashin, D. A. Zhujkov, V. P. Nazarov [et al.] // Siberian Journal of Science and Technology. – 2020. – Vol. 21. – No 3. – P. 417-422. – DOI 10.31772/2587-6066-2020-21-3-417-422.
26. Ибен, У. Численное исследование кавитации и процесса выделения растворенного воздуха в нестационарных потоках / У. Ибен, А. В. Махнов, А. А. Шмидт // Многофазные системы. – 2020. – Т. 15. – № 1-2. – С. 46. – DOI 10.21662/mfs2020.2.
27. Анализ износо-стойкости материалов при кавитации в зависимости от механических и кинетических характеристик / К. К. Сейтказенова, Д. С. Мырзалиев, К. Б. Суендыкова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2020. – № 5(389). – С. 33-39.
28. Авторское свидетельство № 313704 А1 СССР, МПК B29C 65/54, B29C 65/56. Способ нанесения антикавитационного покрытия изделий : № 1324028/23-5 : заявл. 22.04.1969 : опубл. 07.09.1971 / Д. Ш. Боджуга, Д. Г. Пагава, М. И. Топчиашвили ; заявитель Тбилисский научно-исследовательский институт сооружения и гидроэнергетики им. А.В. Винтера.
29. Авторское свидетельство № 573459 А1 СССР, МПК C04B 25/02. Полимербетонная смесь для устройства кавитационно стойких покрытий под водой : № 2087692 : заявл. 26.12.1974 : опубл. 25.09.1977 / В. И. Сахаров, Р. Е. Язев ; заявитель Научно-исследовательский сектор всесоюзного ордена Ленина проектно-изыскательного и научно-исследовательского института «Гидропроект» им. С.Я.Жука

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rasporjazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 9 ijunja 2020 g. №1523-r «Ehnergeticheskaja strategija Rossijskoj Federacii na period do 2035 goda» [Decree of the Government of the Russian Federation No. 1523-r of June 9, 2020 "Energy Strategy of the Russian Federation for the period up to 2035"] [in Russian]
2. Rasskazov L. N. Gidrotekhnicheskie sooruzhenija. Chast' 1. Uchebnik dlja vuzov [Hydraulic structures. Part 1. Textbook for universities] / L. N. Rasskazov, V. G. Orekhov, N. A. Aniskin. - Moscow: Publishing House of the Association of Construction Universities, 2008. - 576 p. [in Russian]
3. Abilov, R. S. Issledovanie protivokavitacionnoe meroprijatija i sovershenstvovanie novyjj konstrukcija rastekatel'ja [Research of anti-cavitation measures and improvement of the new design of the spreader] / R. S. Abilov // American Scientific Journal. – 2020. – № 39-2(39). – pp. 14-17 [in Russian]
4. Ocenka sostojanija i rekomendacii po ehkspluatácii vodosbrosnykh sooruzhenijj Toktogul'skoj i Kurpsajjkoj GEhS [Assessment of the condition and recommendations for the operation of spillway structures of the Toktogul and Kurpsay HPP] / A. R. Khudaiberdiev, G. A. Smolentseva, N. P. Lavrov [et al.] // Hydrotechnical construction. - 2008. - No. 1. - pp. 36-42 [in Russian]
5. Omel'anyuk, M. V. Ochistka gidrotekhnicheskikh sooruzhenijj ot obrastanijj i nasloenijj [Cleaning of hydraulic structures from fouling and layering] / M. V. Omel'anyuk // Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo [Hydrotechnical construction]. - 2013. - No. 5. - pp. 13-17 [in Russian]
6. TATRO, S. B. Compendium of Case Histories on Repair of Erosion-Damaged Concrete in Hydraulic Structures. Reported by ACI Committee 210 / S. B. TATRO // ACI manual practice. 1999.
7. Falvey, H.T. (1990). "Cavitation in chutes and spillways" / H.T. Falvey. USBR.145 p.
8. Bezrukov, E. A. Kavitacija kak prichina razrushenija betonnykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenijj [Cavitation as a cause of destruction of concrete hydraulic structures] / E. A. Bezrukov // Forum molodykh uchenykh [Forum of Young Scientists]. – 2020. – № 8(48). – pp. 25-31 [in Russian]
9. Vashchenko, A. V. Vrednye posledstvija kavitacii i metody bor'by s nej [Harmful effects of cavitation and methods of combating it] / A. V. Vashchenko, E. V. Karimulina, A. A. Ankudinov // Peredovye innovacionnye razrabotki. Perspektivy i opyt ispol'zovanija, problemy vnedrenija v proizvodstvo : Sbornik nauchnykh statej po itogam devjatoj mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Kazan', 31 oktjabrja 2019 goda [Advanced innovative developments. Prospects and experience of use, problems of introduction into production: A collection of scientific articles based on the results of the ninth international scientific conference, Kazan, October 31, 2019]. - Kazan: Limited Liability Company "Konvert", 2019. - pp. 113-114 [in Russian]
10. Tullis, J. P. Hydraulics of pipelines – pumps, valves, cavitation, transients / J. P. Tullis, I. Ed. Ed. John Wiley and Sons, 1989. 266p.
11. Knapp, R.T. Cavitation / R.T. Knapp, J.W. Daily, F.G. Hammitt. 1 ed. MacGraw-Hill, 1970. 578 p.
12. Zhang, R.Z. Synthesis of hydrophobic fluorinated polyurethanes and their properties of resistance to cavitation and wear / R.Z. Zhang, Y.Y. Ren, D.K. Yan et al. // Prog. Organic Coat., 104, 11-19.
13. Wang X. Prototype observation and influencing factors of environmental vibration induced by flood discharge / X. Wang, Y. A. Hu, S. Z. Luo // Water Science and Engineering, 10(1), 78–85.

14. Tomov P. Experimental study of aerated cavitation in a horizontal venturi nozzle / P. Tomov, S. Khelladi, F. Ravelet et al. // *Experimental Thermal and Fluid Science*, 70, 85–95.
15. Branco, R. The Importance of Erosion Concrete Tests for Hydraulic Surfaces / Branco, R., L. Fais, A. L. S. S. Matim et al. 2018.
16. Houghton, D.L. Cavitation Resistance of Some Special Concretes / D.L. Houghton, O.E. Borge, J.H. Paxton // *ACI Journal, Proceedings*, V. 75, No. 12, pp. 664-667.
17. Holland, Terence C. Abrasion-Erosion Evaluation of Concrete Mixtures for Stilling Basin Repairs / C. Holland, Terence, Kinzua Dam, Pennsylvania,” Miscellaneous Paper No. SL-83-16, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, 1983
18. Abdylidaev, M. Yu. Istechenie strui zhidkosti, vytekajushhij iz otverstija s kavitaciej [The outflow of a liquid jet flowing out of a hole with cavitation] / M. Yu. Abdylidaev, K. Ch. Tokonbekova, U. D. Medetbek // *Vestnik Zhalal-Abadskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Jalal-Abad State University]. – 2019. – № 3(42). – pp. 137-143 [in Russian]
19. Holland, T.C. Erosion Resistance with Silica-Fume Concrete / T.C. Holland, R.A. Gutschow // *Concrete International*, V. 9, No. 3, American Concrete Institute, Detroit, 1987.
20. Wang, X. Test on abrasion resistance and deformation characteristics of top seal of high head valve / X. Wang, Y. A. Hu, X. J. Yan, // *Engineering Mechanics*, 35, 349–354.
21. Lu, X. Experimental Investigation on the cavitation erosion properties of concrete with different damage degrees under ultrasonic cavitation / X. Lu, J. Chen, L. Pei, Z. Wu // *EGU General Assembly 2020*, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-1917.
22. Rekomendacii po preduprezhdeniju kavitacionnoj ehrozii betona na primere vodosbrosa № 2 Boguchanskoy GEHS [Recommendations for the prevention of cavitation erosion of concrete based on the spillway No. 2 of the Boguchanskaya HPP] / A. P. Guryev, N. V. Khanov, V. A. Aptukov [et al.] // *Nature management*. - 2019. - No. 4. - pp. 69-77 – DOI 10.34677/1997-6011/2019-4-69-77 [in Russian]
23. Semenov V. M., Lentyaev L. D. Vodoslivnaja plotina s aehraciej sbrosnogo potoka [Spillway dam with aeration of the discharge stream] / V. M. Semenov, L. D. Lentyaev // *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical construction]. - 1973. - No. 5. - pp. 80-85 [in Russian]
24. Avtorskoe svidetel'stvo № 1168657 A1 SSSR, MPK E02B 9/06. Protivokavitacionnoe pokrytie betonno vodovoda : № 3724927 : zajavl. 24.02.1984 : opubl. 23.07.1985 [Copyright certificate No. 1168657 A1 of the USSR, IPC E02B 9/06. Anti-cavitation coating of a concrete water pipe: No. 3724927: application 24.02.1984: publ. 23.07.1985] / S. P. Fetisov, N. A. Yeliseyev; applicant: the Siberian branch of the B. E. Vedneev All-Union Order of the Red Banner of Labor of the Scientific Research Hydraulic Engineering [in Russian]
25. CFD methods for cavitation modeling in centrifugal and axial pumps of LRE / A. S. Torgashin, D. A. Zhujkov, V. P. Nazarov [et al.] // *Siberian Journal of Science and Technology*. – 2020. – Vol. 21. – No 3. – P. 417-422. – DOI 10.31772/2587-6066-2020-21-3-417-422.
26. Iben, U. Chislennoe issledovanie kavitacii i processa vydelenija rastvorennogo vozdukh v nestacionarnykh potokakh [Numerical study of cavitation and the process of separation of dissolved air in non-stationary flows] / U. Iben, A. V. Makhnov, A. A. Shmidt / *Mnogofaznye sistemy* [Multiphase systems]. - 2020. - Vol. 15. - No. 1-2. - p. 46 – DOI 10.21662/mfs2020. 2 [in Russian]
27. Analiz iznosostojkosti materialov pri kavitacii v zavisimosti ot mekhanicheskikh i kineticheskikh kharakteristik [Analysis of the wear resistance of materials during cavitation, depending on the mechanical and kinetic characteristics] / K. To. Seitkazenova, D. S. Myrzaliev, K. B. Suendykova [et al.] // *Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologija tekstil'noj promyshlennosti* [Bulletin of higher educational institutions. Technology of the textile industry]. – 2020. – № 5(389). – pp. 33-39 [in Russian]
28. Avtorskoe svidetel'stvo № 313704 A1 SSSR, MPK B29C 65/54, B29C 65/56. Sposob nanesenija antikavitacionnogo pokrytija izdelij : № 1324028/23-5 : zajavl. 22.04.1969 : opubl. 07.09.1971 [Copyright certificate No. 313704 A1 of the USSR, IPC B29C 65/54, B29C 65/56. Method of applying anti-cavitation coating of products: No. 1324028/23-5: application 22.04.1969: publ. 07.09.1971] / D. Sh. Bojgua, D. G. Pagava, M. I. Topchiashvili; applicant: Tbilisi Scientific Research Institute of Construction and Hydropower named after A.V. Vinter [in Russian]
29. Avtorskoe svidetel'stvo № 573459 A1 SSSR, MPK C04B 25/02. Polimerbetonnaja smes' dlja ustrojstva kavitacionno stojkikh pokrytij pod vodoj : № 2087692 : zajavl. 26.12.1974 : opubl. 25.09.1977 [Copyright certificate No. 573459 A1 of the USSR, IPC C04B 25/02. Polymer-concrete mixture for the device of cavitation-resistant coatings under water: No. 2087692: application 26.12.1974: publ. 25.09.1977] / V. I. Sakharov, R. E. Yazev; applicant: Research Sector of the All-Union Order of Lenin design and Survey and Research Institute "Gidroproekt" named after S. Ya. Zhuk [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.009>К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ
НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ОПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ В MS EXCEL

Научная статья

Трофимец Е.Н.*

ORCID: 0000-0003-4873-2801,

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (ezemifort[at]inbox.ru)

Аннотация

Статья посвящена вопросу оптимизации и совершенствования управления качеством математического образования в вузах МЧС России с целью повышения эффективности образовательного процесса. Аргументировано, что одним из ключевых элементов оптимизации является информационная технологизация математического образования. В данной работе рассматривается исследование свойств определителей в MS Excel. Приведен алгоритм построения компьютерных шаблонов на моделях малой размерности. Описаны вычислительные функции MS Excel в процессе исследования свойств определителей. Обосновано использование MS Excel, как одного из инструментов, отвечающих за управление качеством и оптимизацию математического образования в вузах МЧС России.

Ключевые слова: управление, качество, математическое образование, компьютерные шаблоны, исследование, свойства, определители.

ON THE ISSUE OF QUALITY MANAGEMENT OF MATHEMATICAL EDUCATION
IN STUDYING THE PROPERTIES OF DETERMINANTS IN MS EXCEL

Научная статья

Trofimets E.N.*

ORCID: 0000-0003-4873-2801,

Saint-Petersburg University of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia, Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (ezemifort[at]inbox.ru)

Abstract

The article discusses the issue of optimization and improvement of quality management of mathematical education in higher education institutions of the Ministry of Emergency Situations of Russia in order to increase the efficiency of the educational process. It is argued that one of the key elements of optimization is the information technologization of mathematical education. This paper explores the properties of determinants in MS Excel. The author provides an algorithm for constructing computer templates on small-dimensional models and describes the computational functions of MS Excel in the process of studying the properties of determinants. The use of MS Excel as one of the tools for quality management and optimization of mathematical education in the universities of the Ministry of Emergency Situations of Russia is justified.

Keywords: management, quality, mathematical education, computer templates, research, properties, determinants.

Введение

Математическое образование является центральным звеном любой образовательной системы, в том числе и в вузах МЧС России. Огромный опыт, накопленный человечеством в обучении математике, порой позволяет считать её преподавание доведённым до совершенства. Однако современный мир, меняющийся стремительно, ставит перед математическим образованием новые задачи. Одной из таких задач является задача оптимизации и совершенствования управления качеством математического образования в вузах МЧС России. К одному из приоритетных направлений в данной области относится информационная технологизация математического образования [1], [7], [13].

Данная статья посвящена применению информационных технологий при исследовании свойств определителей в MS Excel. Алгоритм исследования представлен на практических примерах – компьютерных шаблонах, позволяющий оптимизировать процесс усвоения базового математического аппарата необходимого будущим специалистам МЧС России в профессиональной деятельности.

Пример 1. Вычисление определителей.

$$\text{Даны матрицы: } A = \begin{pmatrix} 4 & 9 \\ 5 & 3 \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{pmatrix}.$$

Вычислите определители матриц A и B .

Замечание: напомним, что определитель матрицы можно вычислить только для квадратных матриц, т.е. у которых количество строк равно количеству столбцов.

Рассмотрим этапы решения примера 1 с помощью функции МОПРЕД табличного процессора MS Excel.

1. Перейдите на Лист2 и присвойте ему имя Определители.

Введите на рабочий лист матрицы A и B , а также поясняющие надписи (Рисунок 1).

	A	B	C	D	E	F
1	Вычисление определителей					
2						
3	Матрица A			Матрица B		
4	4	9		1	-1	1
5	5	3		2	1	1
6				1	1	2
7						
8	detA =			detB =		
9						

Рис. 1 – Вычисление определителей – шаблон операции

2. Используя функцию МОПРЕД, вычислите в ячейке B8 определитель матрицы A, а в ячейке E8 определитель матрицы B. Результат представлен на рисунке 2.

	A	B	C	D	E	F
1	Вычисление определителей					
2						
3	Матрица A			Матрица B		
4	4	9		1	-1	1
5	5	3		2	1	1
6				1	1	2
7						
8	detA =		-33	detB =		5
9						

Рис. 2 – Вычисление определителей – результат

3. Проверьте вручную правильность вычисления определителя матрицы A, правильность вычисления определителя матрицы B, используя математические инструменты вычисления определителей.

Пример 2. Исследование свойств определителей.

Даны матрицы: $A = \begin{pmatrix} 4 & 9 \\ 5 & 3 \end{pmatrix}$; $B = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{pmatrix}$.

Проведите исследование свойств определителей матриц A и B.

Этапы исследования.

1. Скопируйте строки 1-8 рабочего листа (Рисунок 1), выделите строку 10 и вставьте скопированные строки.

Свойство 1. Если какая-либо строка (столбец) матрицы состоит из одних нулей, то её определитель равен 0.

Введите нули в первую строку матрицы A и во второй столбец матрицы B. Результат представлен на рисунке 3.

	A	B	C	D	E	F
10	Свойства определителей - Свойство1					
11						
12	Матрица A			Матрица B		
13	0	0		1	0	1
14	5	3		2	0	1
15				1	0	2
16						
17	detA =		0	detB =		
18						

Рис. 3 – Исследование свойств определителей – свойство 1

2. Скопируйте строки 10-17 (Рисунок 3) рабочего листа, выделите строку 19 и вставьте скопированные строки. Доработайте шаблон в соответствии с рисунком 4.

	A	B	C	D	E	F	G	H
19	Свойства определителей - Свойство2							
20								
21	Матрица A			Матрица B			Число	
22	0	0		1	0	1		3
23	5	3		2	0	1		
24				1	0	2		
25								
26	detA =	0		detB =	0			
27								

Рис. 4 – Исследование свойств определителей – свойство 2 (шаблон)

Свойство 2. Если все элементы какой-либо строки (столбца) матрицы умножить на число λ , то её определитель умножится на это число.

В ячейку A22 введите формулу =A4*\$H\$22, скопируйте её в ячейку B22. В ячейку E22 введите формулу =E4*\$H\$22, скопируйте её в ячейки E23 и E24. Результат представлен на рисунке 5.

	A	B	C	D	E	F	G	H
19	Свойства определителей - Свойство2							
20								
21	Матрица A			Матрица B			Число	
22	12	27		1	-3	1		3
23	5	3		2	3	1		
24				1	3	2		
25								
26	detA =	-99		detB =	15			
27								

Рис. 5 – Исследование свойств определителей – свойство 2

3. Скопируйте строки 19-26 рабочего листа (Рисунок 5), выделите строку 28 и вставьте скопированные строки. Доработайте шаблон в соответствии с рисунком 6.

	A	B	C	D	E	F	G
28	Свойства определителей - Свойство3						
29							
30	Матрица B				Матрица B'		
31	1	-1	1				
32	2	1	1				
33	1	1	2				
34							
35	detB =	5			detB' =	#ЗНАЧ!	
36							

Рис. 6 – Исследование свойств определителей – свойство 3 (шаблон)

В ячейку B35 введена формула =МОПРЕД(A31:C33), а в ячейку F35 – формула =МОПРЕД(E31:G33).

Свойство 3. При транспонировании матрицы её определитель не изменяется: $|B'| = |B|$.

В ячейку E31 введите функцию =ТРАНСП(A31:C33). Результат представлен на рисунке 7.

	A	B	C	D	E	F	G
28	Свойства определителей - Свойство3						
29							
30	Матрица B				Матрица B'		
31	1	-1	1		1	2	1
32	2	1	1		-1	1	1
33	1	1	2		1	1	2
34							
35	detB =	5			detB' =	5	
36							

Рис. 7 – Исследование свойств определителей – свойство 3

4. Скопируйте строки 1-8 (Рисунок 1) рабочего листа, выделите строку 37 и вставьте скопированные строки.
Свойство 4. При перестановке двух строк (столбцов) матрицы её определитель меняет знак на противоположный.
 У матрицы **A** поменяйте местами строки, а у матрицы **B** – два первых столбца. Результат представлен на рисунке 8.

	A	B	C	D	E	F
37	Свойства определителей - Свойство4					
38						
39	Матрица A				Матрица B	
40	5	3		-1	1	1
41	4	9		1	2	1
42				1	1	2
43						
44	detA =	33		detB =	-5	
45						

Рис. 8 – Исследование свойств определителей – свойство 4

5. Скопируйте строки 37-44 рабочего листа, выделите строку 46 и вставьте скопированные строки.
Свойство 5. Если квадратная матрица содержит две одинаковые строки (столбца), то её определитель равен нулю.
 У матрицы **A** скопируйте первую строку, а у матрицы **B** – первый столбец. Результат представлен на рисунке 9.

	A	B	C	D	E	F
46	Свойства определителей - Свойство5					
47						
48	Матрица A				Матрица B	
49	5	3		-1	-1	1
50	5	3		1	1	1
51				1	1	2
52						
53	detA =	0		detB =	0	
54						

Рис. 9 – Исследование свойств определителей – свойство 5

6. Скопируйте строки 37-44(Рисунок 8) рабочего листа, выделите строку 55 и вставьте скопированные строки.
Свойство 6. Если элементы двух строк (столбцов) матрицы пропорциональны, то её определитель равен нулю.
 В матрице **A** задайте значение $a_{21} = 15$, а в матрицы **B**: $b_{12} = -5$, $b_{22} = 5$, $b_{32} = 5$. Результат представлен на рисунке 10.

	A	B	C	D	E	F
55	Свойства определителей - Свойство 6					
57	Матрица A			Матрица B		
58	5	3		-1	-5	1
59	15	9		1	5	1
60				1	5	2
62	detA =		0	detB =		0

Рис. 10 – Исследование свойств определителей – свойство 6

7. Скопируйте строки 1-8 (Рисунок 1) рабочего листа, выделите строку 64 и вставьте скопированные строки.

Свойство 7. Определитель матрицы не изменится, если к элементам какой-либо строки (столбца) матрицы прибавить элементы другой строки (столбца), предварительно умноженные на одно и то же число.

В качестве множителя будем использовать число 5.

В матрице **A** задайте значения: $a_{21} = 25$ ($5 + 4 \times 5$), $a_{22} = 48$ ($3 + 9 \times 5$). В матрице **B** задайте значения: $b_{12} = 4$ ($-1 + 1 \times 5$), $b_{22} = 11$ ($1 + 2 \times 5$), $b_{32} = 6$ ($1 + 1 \times 5$). Результат представлен на рисунке 11.

	A	B	C	D	E	F
64	Свойства определителей - Свойство 7					
66	Матрица A			Матрица B		
67	4	9		1	4	1
68	25	48		2	11	1
69				1	6	2
71	detA =		-33	detB =		5

Рис. 11 – Исследование свойств определителей – свойство 7

8. Скопируйте строки 1-8 (Рисунок 1) рабочего листа, выделите строку 73 и вставьте скопированные строки. Доработайте шаблон в соответствии с рисунком 12.

	A	B	C	D	E	F	G	H
73	Свойства определителей - Свойство8							
74								
75	Матрица A			Матрица B			Матрица C = A * B	
76	4	9		5	6			
77	5	3		7	8			
78								
79	detA =	-33		detB =	-2		detC =	#ЗНАЧ!
80								

Рис. 12– Исследование свойств определителей – свойство 8 (шаблон)

В ячейку E79 введена формула =МОПРЕД(D76:E77), а в ячейку I79 – формула =МОПРЕД(G76:H77).

Свойство 8. Определитель произведения двух квадратных матриц равен произведению их определителей: $|C| = |A| \times |B|$, где $C=A \times B$; **A** и **B** – матрицы n -го порядка.

Используя функцию **МУМНОЖ**, найдите $C=A \times B$. Результат представлен на рисунке 13.

	A	B	C	D	E	F	G	H
73	Свойства определителей - Свойство 8							
74								
75	Матрица А			Матрица В			Матрица С = А * В	
76	4	9		5	6		83	96
77	5	3		7	8		46	54
78								
79	detA =	-33		detB =	-2		detC =	66
80								

Рис. 13 – Исследование свойств определителей – свойство 8

Обращаем внимание, что $|C| = |A| \times |B|$.

Заключение

Разработанные компьютерные шаблоны исследования свойств определителей в MS Excel позволяют оперативно перейти от моделей малых размерностей к моделям больших размерностей, активизируя процесс усвоения базового математического аппарата обучающимися.

Информационная технологизация дисциплин математического цикла позволяет оптимизировать процесс управления качеством математического образования в вузах МЧС России.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References*

1. Artamonov V.S. Information systems and processes in the analytical training of management scholars / V.S. Artamonov, A.Y. Ivanov, S.V. Sharapov et al. // *Espacios*, Vol. 38 (N 25), 2017, P. 18.
2. Батьковский А.М. Системы поддержки принятия решений с модулями прикладных математических моделей и методов / А.М. Батьковский, В.Я. Трофимец // *Вопросы радиоэлектроники*. – 2015. – № 9. – С. 253-275.
3. Трофимец В.Я. Оптимизация в Excel: учеб. пособие / В. Я. Трофимец, Е. Н. Трофимец. - Ярославский государственный технический университет, Ярославль, 2008. – 104 с.
4. Трофимец Е.Н. Математическое и программное обеспечение информационных систем поддержки принятия решений / Е. Н. Трофимец ; Монография под общ. ред. Э. Н. Чижилова. – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2019. – 174 с.
5. Трофимец Е.Н. Компьютерное моделирование в математическом образовании инженеров / Е.Н. Трофимец, В.Я. Трофимец // *Сборник научных трудов III Всероссийской науч. конф. «Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса»*, 5-6 марта 2020 г. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2020. – С.351-357.
6. Трофимец Е.Н. Современная цифровая образовательная среда в процессе изучения математических дисциплин / Е.Н. Трофимец // *Сборник трудов международной научной конференции «Наука. Исследования. Практика»*. 26 августа 2019 г. – Санкт-Петербург. СПб: ГНИИ «Нацразвитие», 2019. – С. 48-50.
7. Трофимец Е.Н. К вопросу совершенствования информационно-аналитической подготовки специалистов МЧС России / Е.Н. Трофимец // *Сборник трудов международной научной конференции «Наука. Исследования. Практика»*. 26 августа 2019 г. – СПб: ГНИИ «Нацразвитие», 2019. – С. 50-53.
8. Трофимец Е.Н. Дидактические аспекты проектирования информационно-аналитических технологий обучения студентов-экономистов / Е.Н. Трофимец. Монография. Министерство образования и науки РФ ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», 158 с. Ярославль, 2012.
9. Трофимец Е.Н. Интегральный подход в обучении математике студентов-экономистов / Е.Н. Трофимец. Монография. Министерство образования и науки РФ ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», 170 с. Ярославль, 2009.
10. Золотарев А.А. Теория и методика систем интенсивного информатизированного обучения / А.А. Золотарев. – М.: Ассоциация "Кадры", 2000.
11. Кужель С. С. Информационные технологии – средство развития системного творческого мышления / С. С. Кужель, О. С. Кужель // *Образовательные технологии и общество*. – 2002. – № 1.
12. Трофимец Е.Н., Трофимец А.А. Анализ содержания информационно-аналитической подготовки специалистов экономического профиля // *Материалы конференций ГНИИ НАЦРАЗВИТИЕ Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие»*. Санкт-Петербург, 2021. С. 94-96.2021.
13. Кружалин А.Д. Использование информационных технологий для решения систем нелинейных уравнений / А.Д. Кружалин, А.В. Трофимец, Е.Н. Трофимец // *Сборник научных статей: в 4-х томах. Под редакцией С.В. Бачевского*. 2017. Изд-во: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича (Санкт-Петербург), 2017. С.306-310.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Artamonov V.S. Information systems and processes in the analytical training of management scholars / V.S. Artamonov, A.Y. Ivanov, S.V. Sharapov et al. // *Espacios*, Vol. 38 (N 25), 2017, P. 18.

2. Batkovsky A.M. Sistemy podderzhki prinjatija reshenij s moduljami prikladnykh matematicheskikh modelej i metodov [Decision support systems with modules of applied mathematical models and methods] / A. M. Batkovsky, V. Ya. Trofimets // Вопросы радиоэлектроники [Issues of Radioelectronics]. - 2015. - No. 9. - pp. 253-275 [in Russian]
3. Trofimets V. Ya. Optimizacija v Excel: ucheb. posobie [Optimization in Excel: a manual] / V. I. Trofimets, E. N. Trofimets. - Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, 2008. -104 p. [in Russian]
4. Trofimets E. N. Matematicheskoe i programnoe obespechenie informacionnykh sistem podderzhki prinjatija reshenij [Mathematical and software support of information systems for decision-making support] / E. N. Trofimets // Monograph edited by N. Chizhikov. - St. Petersburg: St. Petersburg University of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2019. - 174 p. [in Russian]
5. Trofimets E. N. Komp'yuternoe modelirovanie v matematicheskom obrazovanii inzhenerov [Computer modeling in mathematical education of engineers] / E. N. Trofimets, V. Ya. Trofimets // Sbornik nauchnykh trudov III Vserossijskoj nauch. konf. «Sovremennye obrazovatel'nye tekhnologii v podgotovke specialistov dlja mineral'no-syr'evogo kompleksa», 5-6 marta 2020 g. Sankt-Peterburg [Collection of scientific papers of the III All-Russian Scientific Conference. "Modern educational technologies in the training of specialists for the mineral resource complex", March 5-6, 2020—] Saint Petersburg: Saint Petersburg Mining University, 2020. - pp. 351-357 [in Russian]
6. Trofimets E. N. Sovremennaja cifrovaja obrazovatel'naja sreda v processe izuchenija matematicheskikh disciplin [Modern digital educational environment in the process of studying mathematical disciplines] / E. N. Trofimets // Sbornik trudov mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Nauka. Issledovaniya. Praktika». 26 avgusta 2019 g. [Proceedings of the international scientific conference " Science. Researches. Practice". August 26, 2019— Saint-Petersburg]. St. Petersburg: GNII "National Development", 2019. - pp. 48-50 [in Russian]
7. Trofimets E. N. K voprosu sovershenstvovaniya informacionno-analiticheskoy podgotovki specialistov MChS Rossii [On the issue of improving information and analytical training of specialists of the EMERCOM of Russia] / E. N. Trofimets // Sbornik trudov mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Nauka. Issledovaniya. Praktika». 26 avgusta 2019 g. [Proceedings of the international scientific conference " Science. Researches. Practice". August 26, 2019]-St. Petersburg: State Research Institute "National Development", 2019. - pp. 50-53 [in Russian]
8. Trofimets E. N. Didakticheskie aspekty proektirovaniya informacionno-analiticheskikh tekhnologij obuchenija studentov-ehkonomistov [Didactic aspects of designing information and analytical technologies for teaching economics students] / E. N. Trofimets // Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Yaroslavl State Technical University, 158 p. Yaroslavl, 2012 [in Russian]
9. Trofimets E. N. Integral'nyj podkhod v obuchenii matematike studentov-ehkonomistov [Integral approach in teaching mathematics to economics students] / E. N. Trofimets // Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Yaroslavl State Technical University, 170 p. Yaroslavl, 2009 [in Russian]
10. Zolotarev A. A. Teoriya i metodika sistem intensivnogo informatizirovannogo obuchenija [Theory and methodology of intensive informatized training systems] / A. A. Zolotarev. - Moscow: assotsiatsiya "Kadry", 2000 [in Russian]
11. Kuzhel S. S. Informacionnye tekhnologii – sredstvo razvitiya sistemnogo tvorcheskogo myshlenija [Information technologies – a means of developing systemic creative thinking] / S. S. Kuzhel, O. S. Kuzhel // Obrazovatel'nye tekhnologii i obshchestvo [Educational technologies and society]. - 2002. - No. 1 [in Russian]
12. Trofimets E. N. Analiz soderzhaniya informacionno-analiticheskoy podgotovki specialistov ehkonomicheskogo profilja [Analysis of the content of information and analytical training of economic specialists] / E. N. Trofimets, A. A. Trofimets // Materialy konferencij GNII NACRAZITIE Sbornik izbrannykh statej po materialam nauchnykh konferencij GNII «Nacrazvitiye» [Materials of conferences of the State Research Institute of National Development A collection of selected articles based on the materials of scientific conferences of the State Research Institute "Natsrazvitiye"]. St. Petersburg, 2021, pp. 94-96. 2021 [in Russian]
13. Kruzhalin A.D. Ispol'zovanie informacionnykh tekhnologij dlja resheniya sistem nelinejnykh uravnenij [The use of information technologies for solving systems of nonlinear equations] / A. D. Kruzhalin, A. V. Trofimets, E. N. Trofimets // Sbornik nauchnykh statej: v 4-kh tomakh [Collection of scientific articles: in 4 volumes]. Edited by S. V. Bachevsky. 2017. Publishing house: St. Petersburg State University of Telecommunications named after prof. M. A. Bonch-Bruевич (St. Petersburg), 2017, pp. 306-310 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.010>

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФРУКТОВЫХ ВИН

Научная статья

Цинцадзе О.Е.^{1,*}, Архипова Н.А.²

^{1,2} Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

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

Аннотация

Специалисты, ежегодно анализирующие состояние продуктовых рынков, ведут разговор о наступлении нового времени фруктовых вин.

В мире и России идет развитие производственного сектора фруктовых вин, при этом апельсин – самый популярный и востребованный фрукт.

На фоне развития производства фруктовых вин в России особое внимание уделяется вопросам контроля качества и безопасности готовой продукции.

Изучение вопросов качества и безопасности фруктовых вин в России является приоритетным направлением исследовательской деятельности и создает научную базу для производства высококачественных фруктовых алкогольных напитков.

В статье рассматривается вопрос актуальности производства вина из апельсинов в Оренбургской области. В процессе работы определены основные физико-химические и органолептические показатели качества апельсинов, молодого апельсинового вина. По результатам исследований получено полусухое фруктовое столовое вино отличного качества, соответствующее требованиям ГОСТ 33806-2016.

Ключевые слова: апельсины, содержание сахара, дегустационная оценка, объемная доля спирта, фрукты.

MODERN TRENDS IN THE PRODUCTION OF FRUIT WINES

Research article

Tsintsadze O.E.^{1,*}, Arkhipova N.A.²

^{1,2} Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

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

Abstract

Specialists who annually analyze the state of food markets are talking about the advent of a new time of fruit wines.

The world and Russia are developing the production sector of fruit wines, while the orange is the most popular fruit.

Against the background of the development of fruit wine production in Russia, special attention is paid to the issues of quality control and safety of finished products.

The study of the quality and safety of fruit wines in Russia is a priority area of research activity and creates a scientific basis for the production of high-quality fruit alcoholic beverages.

The article discusses the relevance of the production of orange wine in Orenburg Oblast. The article defines the main physicochemical and organoleptic indicators of the quality of oranges and young orange wine. According to the results of the research, a semi-dry fruit table wine of excellent quality was obtained that meets the requirements of GOST 33806-2016.

Keywords: oranges, sugar content, tasting assessment, volume fraction of alcohol, fruit.

Введение

Фруктовым вином является продукт виноделия с объемной долей этилового спирта 6,0...15,0 %, полученный спиртовым брожением измельченных свежих фруктов или их соков с добавлением или без добавления сахара, без добавления этилового спирта [1]. Ассортимент вина очень разнообразен, так как его можно сделать практически из любых фруктов и ягод, кроме винограда. Напиток популярен в Китае, США и Европейских странах: в Англии и Франции фруктовые вина входят в продуктовую корзину.

Плоды апельсина и их сок могут использоваться как основное сырье при производстве вин. В состав фрукта входят сахара в небольших количествах, но ГОСТом допустимо добавлять в рецептуру сахаросодержащие вещества для стимуляции брожения. Пектин кожуры придаст напитку мягкий вкус. Эфиромасличные соединения цедры обогатят вино яркими летними нотами. Применение винных сахаромоцетов-дрожжей позволит запустить процесс ферментации апельсинового сока и получить хорошее фруктовое вино.

Особый интерес к цитрусу, как сырью для производства вина, можно объяснить не только цветом, вкусом и ароматом плода, но и его пищевой ценностью.

В первую очередь апельсин характеризуется высоким содержанием витамина С: в 100 г фрукта находится 89% от суточной нормы. Витамин С отвечает за эластичность и здоровье кожи и сосудов, укрепляет коллагеновые ткани, укрепляет иммунитет и дает бодрость. При регулярном употреблении цитруса снижается риск появления инфарктов на 19%.

Калорийность апельсина невысока, составляет примерно 47...50 ккал на 100 г. Следовательно, употребление фрукта во время диеты принесет только пользу. Ввиду небольшого содержания углеводов – 11,8 г на 100 г – апельсин можно употреблять при сахарном диабете [2].

При употреблении апельсинов нужно соблюдать умеренность, так как плод цитруса понижает давление и может вызвать аллергию. Норма употребления фрукта в сутки составляет 1...2 апельсина для взрослого человека [3].

На фоне развития производства фруктовых вин в России особое внимание уделяется вопросам контроля качества и безопасности готовой продукции. На законодательном уровне в августе 2016 г. был принят ГОСТ 33806-2016 «Вина

фруктовые столовые и виноматериалы фруктовые столовые». В документе отражены основные определения производства фруктового вина, требования к рецептуре, классификация фруктовых вин, физико-химические и органолептические показатели качества виноматериалов и готового продукта. Также ГОСТ содержит требования к сырью, маркировке, упаковке и хранению вина [1].

Одной из основных задач современных исследований является разработка общей системы оценки качества фруктовых вин для российского рынка. С целью выявления фальсификата предложено исследовать образцы на количественное содержание групп фенольных соединений, что оказалось эффективным методом оценки качества при выявлении фальсификата [4].

Таким образом, изучение вопросов качества и безопасности фруктовых вин в России является приоритетным направлением исследовательской деятельности и создает научную базу для производства высококачественных фруктовых алкогольных напитков.

Поэтому целью работы является контроль качества апельсинов и молодого апельсинового вина.

Методы и принципы исследования

Основным сырьем для апельсинового вина являются свежие апельсины. Качество цитруса и соков определяется следующими методами:

Органолептический метод используют при осмотре внешнего вида фрукта. Устанавливается свежесть плодов, чистота, отсутствие механических и других повреждений, соответствие запаха и вкуса [5].

Массовую концентрацию сахаров в соках и виноматериале определяют по ГОСТ 27198-87 рефрактометрическим методом. Массовую долю сухих веществ определяют по шкале рефрактометра по точке раздела света и тени. [6].

Для определения качества соков по ГОСТ 32101-2013 применялся органолептический метод: внешний вид соков, наличие осадка, цвет, вкус, аромат [7].

Определение нитратов в апельсинах проводилось с применением нитрат-тестера «МОРИОН-ОК₂», состоящего из измерительного зонда и блока анализатора. Стрелку измерителя нитрат-тестера следует зафиксировать на отметке «100» для плодоовощной продукции, зонд ввести в мякоть фрукта на 15 мм в глубину. Стрелка измерителя покажет содержание нитратов [8].

Для определения содержания кислоты в вине, берем 10 мл светлого вина и 100 мл воды в термостойких колбах, доводим до кипения на лабораторной плите. Добавляем 3-4 капли фенолфталеина 3% и титруем щелочью. При появлении стойкого розового цвета в течение 30 с фиксируем показания. Количество винной кислоты в 1,0 л вина рассчитывают по формуле.

Согласно, определению содержания спирта, из двух проб по 100 мл определяют нетто и кипятят 5 минут для удаления спирта, затем доливают воды до первоначального объема в 100 мл и взвешивают. Для масс нетто со спиртом и без спирта вычисляют их удельные массы. Из удельной массы виноматериала без спирта отнимают удельную массу виноматериала со спиртом, полученную цифру вычитают из единицы. Результат находят в таблице приложения 2, по которой определяют соответствующие показания спирта по массе и объему [9].

Для определения содержания спирта, у 100 мл виноматериала определяют массу нетто проводят ряд вычислений: находят удельную массу виноматериала; из удельной массы исследуемого объекта вычитают единицу, а результат делят на пять. Полученное значение соответствует содержанию сахара в процентах [3].

Для исследований была выбрана технология производства вина из свежесжатого апельсинового сока, приготовленного из цельных плодов с цедрой, с использованием минимального количества воды, необходимого для активации винных дрожжей, и двухступенчатым добавлением сахара при брожении [10].

Согласно рецептуре, образец апельсинового вина – это вино из апельсинового сока (1,0 л), полученное с применением винных сухих дрожжей (0,0014 кг) и сахара-песка (0,340 кг). Количество воды минимально (0,03 л), и требуется только для активации дрожжей.

Вино из апельсинов получают в результате сбраживания свежего сока с применением винных дрожжей и сахара. Дрожжи необходимы потому, что на поверхности цитрусовых нет полезной микрофлоры, стимулирующей бродильные процессы, как у винограда или малины. Количество природных сахаров в плодах апельсина недостаточно для питания дрожжей на начальном этапе производства, поэтому его добавляют в виде сахара-песка при закладке суслу для стимуляции брожения и для набора спирта [11].

Фруктовые кислоты в апельсиновом соке формируют неповторимый свежий и немного терпкий вкус вина. Спирт и сахар смягчают кислоту. Кроме того, в процессе брожения и дальнейшей ферментации кислотность вина может меняться, для цитрусового сырья, как правило, она снижается.

Дегустация проводилась при температуре напитка +12...+14 °С, а, как того требуют правила дегустации вин и ГОСТ 32051-2013. Для оценки выбрана 10-бальная российская система, в которой: прозрачность оценивают 0,5 баллами; цвет вина – 0,5; аромат вина – 3,0; вкус вина – 5,0; тип вина – 1,0 [12].

Основные результаты

Партию апельсинов, как того предполагает схема теххимического контроля сырья, подвергли органолептическому анализу. В таблице 1 представлен сравнительный анализ полученных показателей с требованиями ГОСТа и сортовыми особенностями группы Навель.

Таблица 1 – Органолептические показатели качества апельсинов Навель

Показатели качества	Полученные данные	Требования ГОСТ 4427-82 «Апельсины» и сортовые особенности
Поперечный диаметр, мм	82...96	для I категории апельсинов от 71 и более
Форма плодов	округлая или слегка вытянутая	круглая или немного вытянутая
Сортовые особенности	наличие «пупка»	на верхушке характерный круглый вырост-пупок
Масса одного плода, г	225...258	средняя масса плодов 200...250, допустимо до 600

По замеру поперечного диаметра фрукта исследуемые апельсины Навель относятся к I категории. Форма апельсинов и специфический «пупок» - отличительная черта сорта. Большая масса одного плода также является товарной характеристикой апельсинов Навель.

Также, осмотром внешнего вида установлено: плоды свежие и упругие, поверхность плода чистая, механических повреждений и грибковых заболеваний не обнаружено. Повреждений от насекомых вредителей нет. Поверхность плода нелипкая, без явных следов дифенила и парафинов.

Окраска плода – яркая оранжевая без прозелени, хвостики от плодоножек имеются на каждом фрукте. Мякоть сочная, ароматная, не содержит косточек. Вкус мякоти сладкий, с небольшой долей кислинки. Запах достаточно выраженный, свойственный апельсинам. Цедра имеет приятную маслянистую структуру, очень насыщенный аромат и свойственную горечь во вкусе.

На рисунке 1 изображены внешний вид плодов и вид на разрезе.



Рис. 1 – Апельсины сорта Навель:
А – внешний вид; Б – в разрезе

В процессе дальнейшей обработки апельсинов была подсчитана массовая доля выхода сока, которая составила 51,8 %. Такой показатель говорит о свежести плода, зрелости и его принадлежности к промышленным сортам.

Для завершения теххимического контроля был проведен анализ на содержание нитратов с помощью нитрат-теста. Нормой для цитруса - количество до 60 мг/кг. Результат экспресс-теста показал 20 % от предельно допустимой концентрации, т. е. в исследуемых апельсинах нитратов всего 12 мг/кг.

Согласно проведенным исследованиям, выбранные апельсины соответствуют ГОСТ 4427-82 «Апельсины. Технические условия» и ГОСТ 34307-2017 «Плоды цитрусовых культур. Технические условия» и являются сырьем высокого качества для производства вина: свежие, без повреждений, нужной степени зрелости и с высоким содержанием сока.

После проведенной дегустационной оценки апельсинового вина, заполняем таблицу 2.

По результатам дегустационной оценки образец относится к вину отличного качества. Апельсиновое вино по всем органолептическим показателям получило наивысшие баллы.

В процессе разработки технологии производства апельсинового вина были определены основные физико-химические показатели качества вина для представленного образца. Результаты отражены на рисунке 2.

Таблица 2 – Результаты дегустации апельсинового вина

Показатели качества	Характеристика показателя	Кол-во баллов	Наибольшее количество баллов
Прозрачность	Прозрачное с кристалльным блеском, осадка нет	0,5	0,5
Цвет	Золотистый, соответствует типу	0,5	0,5
Аромат	Яркий цитрусовый, развитый	3,0	3,0
Вкус	Гармоничный, тонкий, цитрусовая горчинка, соответствует типу	5,0	5,0
Тип вина	Соответствует полностью	1,0	1,0
Суммарное количество баллов:		10,0	10,0

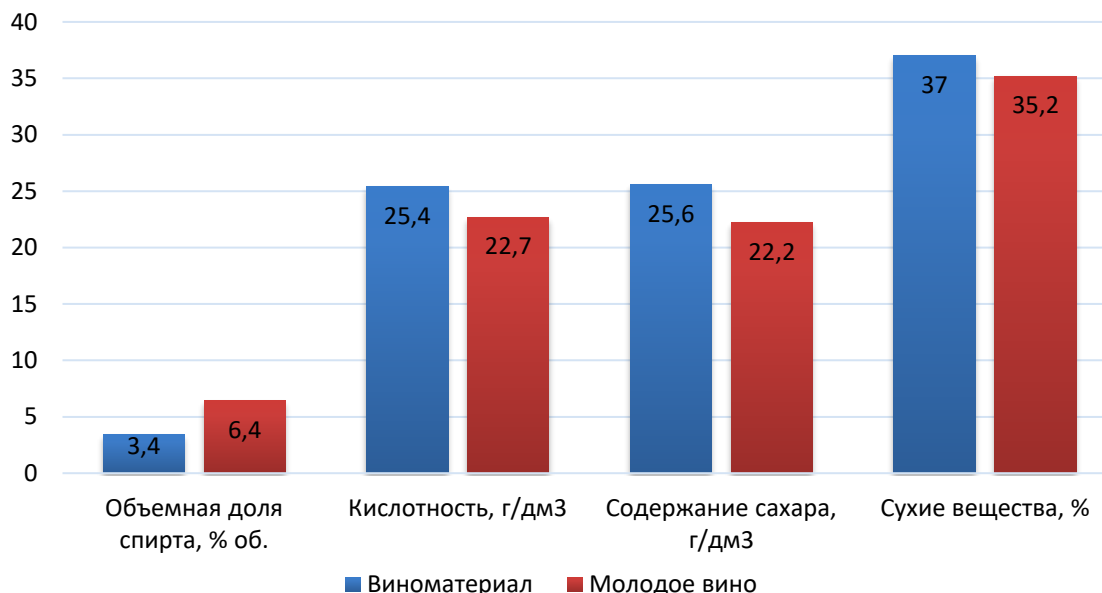


Рис. 2 – Динамика изменения физико-химических показателей при производстве апельсинового вина

Динамика изменения физико-химических показателей демонстрирует процесс преобразования сахаров в спирт под действием винных дрожжей. Кислотность виноматериала от 3,4 до 6,4 % у молодого вина, при этом содержание сухих веществ отмечается у виноматериала больше на 2,2 %, чем у молодого вина. Массовая концентрация сахаров - в пределах 25,6 до 22,2 г/дм³, а объемная доля спирта – 3,4 до 6,4 г/дм³.

По основным физико-химическим показателям вино соответствует ГОСТ 33806-2016 и относится к полусухим фруктовым винам.

Заключение

Рынок фруктовых вин в России развивается. Апельсиновые вина внесут разнообразие и яркие нотки в имеющийся ассортиментный ряд. Апельсиновое сырье является доступным в течение всего года и не подвержено сезонным ценовым скачкам при оптовых закупках. В мировой практике уделено огромное внимание переработке вторичного сырья при переработке апельсинов, что позволяет разработать безотходную технологию производства вина и получить дополнительную выгоду.

По рецептуре апельсинового вина, согласующейся с требованиями ГОСТ 33806-2016 «Вина фруктовые столовые и виноматериалы фруктовые столовые» было получено полусухое фруктовое столовое вино.

По результатам органолептической оценки образец апельсинового вина относится к отличным винам.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

- ГОСТ 33806-2016. Вина фруктовые столовые и виноматериалы фруктовые столовые. Общие технические условия. - Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Введ. 25.08.2016. - М.: Стандартинформ, 2019. – 12 с.
- Константинов, Ю. А. Лечение цитрусовыми. От авитаминоза, простуды, гипертонии, ожирения, атеросклероза, сердечно-сосудистых заболеваний. / Ю. А. Константинов. – М.: Центрполиграф, 2019. – 159 с.
- Оганесянц, Л. А. Теория и практика плодового виноделия / Л. А. Оганесянц, А. Л. Панасюк, Б. Б. Рейтблат. - М.: Развитие, 2012. - 396 с.
- Макаров, С. С. К вопросу оценки качества и идентификации сортовых ягодных вин, реализуемых на российском рынке / С. С. Макаров. // Пищевая промышленность. - 2019. - № 5. - с. 72-77.
- ГОСТ 34307-2017 Плоды цитрусовых культур. Технические условия - Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Введ. 30.11.2017. - М.: Стандартинформ, 2018. – 33 с.
- ГОСТ 27198-87 (СТ СЭВ 5622-86) Виноград свежий. Методы определения массовой концентрации сахаров. - Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совмине СССР. – Введ. 07.01.1987. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 9 с.
- ГОСТ 32101-2013 Консервы. Продукция соковая. Соки фруктовые прямого отжима. Общие технические условия. - Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Введ. 28.06.2013. - М.: Стандартинформ, 2019. – 18 с.
- Практикум по технoхимическому контролю продукции растениеводства: учебное пособие/ Н.А. Архипова, В.Н. Яичкин, Ю.А. Гулянов, В.В. Каракулев. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2010. -212с.
- Практикум по бродильному производству/ О. Е. Цинцадзе, В. Н. Яичкин, Ю. А. Гулянов, В. В. Каракулев. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2006. – 112 с.

10. Сергеева, Г. Г. Полезные напитки – от кваса до наливки. / Г. Г. Сергеева. – Москва: Издательство «Феникс», 2019. – 256 с.
11. Докучаева, И. С. Общая технология отрасли: учебно-методическое пособие / И. С. Докучаева, В. В. Харьков. – Казань: Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2019. – 136 с.
12. Косюра, В. Т. Основы виноделия: учебное пособие для вузов / В. Т. Косюра, Л. В. Донченко, В. Д. Надыкта. - 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2019. - 422 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. GOST 33806-2016. Vina fruktovyje stolovye i vinomaterialy fruktovyje stolovye. Obshhie tekhnicheskie uslovija. - Federal'noe agentstvo po tekhnicheskemu regulirovaniju i metrologii [Fruit table wines and wine materials fruit canteens. General technical conditions. - Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. - Introduced 25.08.2016]. - Moscow: Standartinform, 2019 – 12 p. [in Russian]
2. Konstantinov, Yu. A. Lechenie citrusovymi. Ot avitaminoza, prostudy, gipertonii, ozhireniya, ateroskleroza, serdechno-sosudistyykh zabolevaniy [Treatment with citrus fruits. From vitamin deficiency, colds, hypertension, obesity, atherosclerosis, cardiovascular diseases] / Yu. A. Konstantinov. - M.: Tsentrpoligraf, 2019 – 159 p. [in Russian]
3. Oganesyants, L. A. Teoriya i praktika plodovogo vinodeliya [Theory and practice of fruit winemaking] / L. A. Oganesyants, A. L. Panasyuk, B. B. Reitblat. - M.: Razvitie, 2012. - 396 p. [in Russian]
4. Makarov, S. S. K voprosu ocenki kachestva i identifikatsii sortovykh jagodnykh vin, realizuemykh na rossijskom rynke [On the issue of quality assessment and identification of varietal berry wines sold on the Russian market] / S. S. Makarov. // Pishhevaya promyshlennost' [Food industry]. - 2019. - No. 5. - pp. 72-77 [in Russian]
5. GOST 34307-2017 Plody citrusovykh kul'tur. Tekhnicheskie uslovija - Federal'noe agentstvo po tekhnicheskemu regulirovaniju i metrologii [Fruits of citrus crops. Technical specifications - Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. - Introduced 30.11.2017]. - Moscow: Standartinform, 2018 – 33 p. [in Russian]
6. GOST 27198-87 (ST SEV 5622-86) Vinograd svezhiy. Metody opredeleniya massovoj koncentracii sakharov. - Komitet standartov, mer i izmeritel'nykh priborov pri Sovmine SSSR. [The grapes are fresh. Methods for determining the mass concentration of sugars. - Committee of Standards, Measures and Measuring Devices under the Council of Ministers of the USSR. - Introduced 07.01.1987]. - Moscow: IPK Publishing House of Standards, 2000 – 9 p. [in Russian]
7. GOST 32101-2013 Konservy. Produkcija sokovaya. Soki fruktovyje prjamo go otzhima. Obshhie tekhnicheskie uslovija. - Federal'noe agentstvo po tekhnicheskemu regulirovaniju i metrologii [Canned Food. Juice products. Direct-pressed fruit juices. General technical conditions. - Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. - introduced 28.06.2013]. - Moscow: Standartinform, 2019 – 18 p. [in Russian]
8. Praktikum po tekhnokhimicheskemu kontrolju produkcii rastenievodstva: uchebnoe posobie [Workshop on technochemical control of crop production: textbook] / N. A. Arkhipova, V. N. Yaichkin, Yu. A. Gulyanov, V. V. Karakulev. - Orenburg: Publishing Center of the OGAU, 2010. - 212 p.[in Russian]
9. Praktikum po brodil'nomu proizvodstvu [Workshop on fermentation production] / O. E. Tsintsadze, V. N. Yaichkin, Yu. A. Gulyanov, V. V. Karakulev. - Orenburg: Publishing Center of the OGAU, 2006. - 112 p. [in Russian]
10. Sergeeva, G. G. Poleznye napitki [Healthy drinks-from kvass to liqueur] / G. G. Sergeeva. - Moscow: Publishing house "Feniks", 2019 – 256 p. [in Russian]
11. Dokuchaeva, I. S. Obshhaya tekhnologiya otrasli: uchebno-metodicheskoe posobie [General technology of the industry: an educational and methodological guide] / I. S. Dokuchaeva, V. V. Kharkov. - Kazan: Kazan Scientific Research Technological University, 2019. - 136 p. [in Russian]
12. Kosyura, V. T. Osnovy vinodeliya: uchebnoe posobie dlja vuzov [Fundamentals of winemaking: a textbook for universities] / V. T. Kosyura, L. V. Donchenko, V. D. Nadykta. - 2nd edition, Revised and Expanded. - M.: Yurayt, 2019. - 422 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.011>**ПОДАВЛЕНИЕ ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ
С АФФИННОЙ СТРУКТУРОЙ**

Научная статья

Шашихин В.Н.^{1,*}, Будник С.В.²¹ ORCID: 0000-0002-3718-9623;^{1,2} Санкт Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

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

Аннотация

Рассматривается задача приведения хаотических режимов нелинейных систем к регулярным режимам. Стабилизация особых точек и предельных циклов достигается введением обратной связи по фазовым координатам и формированием соответствующего спектра характеристических показателей Ляпунова нелинейных систем с аффинной структурой управления. Коэффициенты обратной связи вычисляются с использованием метода модального управления, обобщенного на нелинейные системы, на основе приведения системы к канонической форме Фробениуса. Предлагаемая методика синтеза управления рассмотрена на примере нелинейной модели цепи Чуа. Результаты вычислительного эксперимента по определению спектра характеристических показателей Ляпунова и построению фазового портрета нелинейной системы подтверждают работоспособность предложенного метода подавления хаотической динамики.

Ключевые слова: системы управления, стабилизация, колебания.**SUPPRESSION OF CHAOTIC FLUCTUATIONS IN NONLINEAR SYSTEMS WITH AFFINE STRUCTURE**

Research article

Shashikhin V.N.^{1,*}, Budnik S.V.²¹ ORCID: 0000-0002-3718-9623;^{1,2} Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

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

Abstract

The current article examines the problem of reducing chaotic modes of nonlinear systems to regular modes. The stabilization of singular points and limit cycles is achieved by introducing feedback on phase coordinates and forming the corresponding spectrum of Lyapunov characteristic indicators of nonlinear systems with an affine control structure. The feedback coefficients are calculated using the modal control method generalized to nonlinear systems, based on the reduction of the system to the canonical Frobenius form. The proposed method of control synthesis is examined using a nonlinear Chua chain model as an example. The results of a computational experiment to determine the spectrum of Lyapunov characteristic indicators and construct a phase portrait of a nonlinear system confirm the operability of the proposed method for suppressing chaotic dynamics.

Keywords: control systems, stabilization, fluctuations.**Введение**

Основная часть технических объектов и процессов окружающего нас мира имеет нелинейный характер поведения. Хорошо известно, что в нелинейных системах при определённых условиях возможно возникновение детерминированного хаоса, который может играть как положительную роль, так и отрицательную. В этой ситуации проблема управления хаосом приобретает большое теоретическое и прикладное значение [1].

Среди различных задач управления хаосом можно выделить задачу подавления, имеющую важную практическую роль при нейтрализации шумов в электронных системах и вибраций в различных конструкциях [2], [3]. Задача подавления хаоса заключается в формировании управляющего воздействия, при котором вместо хаотической динамики замкнутая нелинейная система будет иметь устойчивые особые точки или периодические решения [4], [5], [6], [7].

Для стабилизации хаотических систем исторически первыми и наиболее активно развиваемыми в настоящее время являются следующие методы: метод Отта–Гребоджи–Йорке (OGY-метод) [8], метод Пирагаса [9], метод Магницкого [10]. Также для управления хаотической динамикой используются традиционные подходы и методы автоматического управления. Например, в работе [11] стабилизация хаотической системы осуществляется с помощью обратной связи по отклонению, а для выбора коэффициентов регулятора используется критерий Рауса-Гурвица. Развивается подход и на основе аналитического конструирования агрегированных регуляторов [12], основанный на идеи введения совокупности инвариантных многообразий и поэтапной декомпозиции исходной динамической системы [13].

Настоящая работа посвящена синтезу управления нелинейной системой путем введения обратной связи. Искомое управление позволяет решать задачи, как подавления хаоса, так и его усиления за счет формирования требуемого спектра характеристических показателей Ляпунова.

Постановка задачи

Пусть возмущенные движения нелинейного динамического объекта описываются векторным дифференциальным уравнением

$$\dot{x}(t) = dx(t) / dt = \phi(x(t)) + Bu(t), \quad x(0) = x_0, \quad (1)$$

где $x(t) \in \mathbb{R}^n$ - вектор состояния; $u(t) \in \mathbb{R}^m$ - вектор управления; $m \leq n$; $\phi(x(t)) = (\phi_i(x(t)))_{i=1}^n$ - векторная функция, $\phi_i(x(t))$ - вещественные функции, определенные и непрерывные в области $\Omega = \{x \mid \|x\| < \varrho, \varrho = \text{const} > 0\} \subset \mathbb{R}^n$ и имеющие в ней непрерывные частные производные, которые ограничены в замкнутой области $\Omega_1 = \{x \mid \|x\| \leq \varrho_1 < \varrho\} \subset \mathbb{R}^n$.

Вид траекторий системы (1) определяется характеристическими показателями Ляпунова. Одна из особенностей нерегулярных режимов – неустойчивость траекторий, принадлежащих хаотическому (странному) аттрактору. Количественной мерой этой неустойчивости являются характеристический показатель Ляпунова. Среди всего набора характеристических показателей Ляпунова наиболее важен наибольший (старший) показатель $\chi_1 = \chi_{\max}$. Характеристические показатели, упорядоченные по убыванию $\chi_1 \geq \chi_2 \geq \dots \geq \chi_n$, задают спектр Ляпунова нелинейной динамической системы.

В нелинейных системах, помимо устойчивых особых точек и предельных циклов, аттракторами могут быть странные аттракторы. В n -мерных нелинейных системах сигнатура спектра Ляпунова может принимать следующий вид:

$$\underbrace{(-, -, -, \dots, -, -, -)}_n \text{ – состояние равновесия;} \quad (2a)$$

$$(0, \underbrace{-, -, \dots, -, -, -}_{n-1}) \text{ – предельный цикл;} \quad (2б)$$

$$(\underbrace{+, \dots, +}_s, 0, -, \dots, -) \text{ – странный аттрактор, } s \geq 1. \quad (2в)$$

Задача подавления хаоса состоит в преобразовании хаотического режима системы (1), который характеризуется спектром (2в), в регулярный режим со спектром (2а) или (2б), то есть обеспечить аттрактор в виде особой точки или предельного цикла.

Для решения этой задачи необходимо найти управление в виде обратной связи по фазовому вектору нелинейной системы (1)

$$u(t) = Lx(t), \quad L \in \mathbb{R}^{m \times n}, \quad (3)$$

которое обеспечит в замкнутой системе

$$\dot{x}(t) = \phi(x(t)) + BLx(t), \quad x(0) = x_0 \quad (4)$$

спектр характеристических показателей Ляпунова

$$\sigma(\phi + BL) = \{\chi_i(\phi + BL), \quad i = \overline{1, n}\} \quad (5)$$

равный желаемому (требуемому) спектру

$$\sigma(G) = \{\chi_i(G), \quad i = \overline{1, n}\}. \quad (6)$$

Желаемый спектр (6) определяется требуемым характером регулярного движения системы (4).

Синтез обратной связи для линеаризованной системы

Пусть уравнение (1) описывает отклонения фазовых координат нелинейного объекта от некоторой траектории $x^*(t)$, на которой он удерживается с помощью управляющего воздействия $u^*(t)$. Используя формулу Тейлора в предположении дифференцируемости компонент функции $\phi(x(t)) = (\phi_i(x(t)))_{i=1}^n$ в окрестности заданной траектории $x^*(t)$, преобразуем уравнение (1) к квазилинейному виду

$$\dot{x}(t) = A(x^*)x(t) + Bu(t) + H(x^*), \quad x(0) = x_0$$

с коэффициентом $A(x^*)$

$$A(x^*) = \begin{bmatrix} \partial \phi_1(x(t)) / \partial x_1 & \dots & \partial \phi_1(x(t)) / \partial x_n \\ \dots & \dots & \dots \\ \partial \phi_n(x(t)) / \partial x_1 & \dots & \partial \phi_n(x(t)) / \partial x_n \end{bmatrix}_{x(t)=x^*(t)} . \quad (7)$$

Здесь $A(x^*)$ - матрица Якоби нелинейной системы (1). Если матрица Якоби (7) не имеет собственных чисел на мнимой оси, тогда для синтеза управления, стабилизирующего нелинейную систему (1), в силу теоремы Гробмана-Хартмана [14], может быть использовано линейаризованное уравнение

$$\dot{x}(t) = A(x^*)x(t) + Bu(t), \quad x(0) = x_0. \quad (8)$$

Желаемые собственные числа матрицы Якоби (7) можно задать с помощью методики синтеза модального регулятора (3) [15]. Модальный регулятор позволяет задать желаемый характер поведения линейаризованной системы за счет выбора требуемых собственных значений матрицы Якоби замкнутой системы. Пусть линейаризованная система (8) имеет вид

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + bu(t), \quad x(0) = x^0, \quad (9)$$

где $x(t) \in R^n$ – вектор фазовых координат; $u(t) \in R^1$ – управляющее воздействие; $b \in R^{n \times 1}$ - матрица (столбец) входа.

Требуется определить параметры $l = l_1, l_2, \dots, l_n^T$ линейного закона управления с обратной связью $u(t) = lx(t)$, обеспечивающего заданные собственные числа $\bar{\lambda}_i$, $i=1, \dots, n$ матрицы замкнутой системы $A_z = A + bl$. Из выражения для матрицы замкнутой системы $A_z = A + bl^T$ нельзя непосредственно получить значения коэффициента обратной связи l , так как сама матрица A_z неизвестна. Поэтому используется замена переменных $x = Q\tilde{x}$ такая, чтобы математическая модель преобразованной системы (9), замкнутой синтезируемым управлением,

$$\dot{\tilde{x}} = (\tilde{A} + \tilde{b}\tilde{l}^T)\tilde{x}, \quad (10)$$

имела каноническую форму Фробениуса:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \\ -a_n & -a_{n-1} & \dots & -a_1 \end{bmatrix}, \quad \tilde{b} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix},$$

где a_i – коэффициенты характеристического полинома матриц A и \tilde{A} .

Для того чтобы привести матрицу системы к канонической форме, используется матрица T , образованная из коэффициентов характеристического полинома матрицы объекта управления A следующим образом:

$$T = \begin{bmatrix} a_{n-1} & a_{n-2} & \dots & 1 \\ a_{n-2} & a_{n-3} & \dots & 0 \\ a_{n-3} & 1 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}.$$

Для преобразования $x = Q\tilde{x}$ используется матрица $Q = S_y T$, где S_y – матрица управляемости системы. Рассмотрим подробно такое преобразование:

$$\dot{\tilde{x}} = Q^{-1}AQ\tilde{x} + Q^{-1}bl^T Q\tilde{x}.$$

Если ввести обозначения

$$\tilde{l} = Q^T l, \quad \tilde{b} = Q^{-1}b, \quad \tilde{A} = Q^{-1}AQ,$$

тогда модель системы примет вид, определяемый выражением (10). Учитывая особенности построения матрицы Q , матрица системы имеет каноническую форму Фробениуса, а вектор b будет приведён к простейшему виду:

$$\tilde{A} = I_4^{(1)} - e_4 a^T, \quad \tilde{b} = e_4,$$

где $I_n^{(p)}$ – матрица размера $n \times n$, имеющая на p -й «наддиагонали» единицы, а остальные нули; e_n – единичный вектор размера n , n -я координата которого равна единице, а остальные – нулю; $a = (a_n, a_{n-1}, \dots, a_1)^T$ – вектор коэффициентов характеристического полинома матрицы A . После выполненных преобразований матрица замкнутой системы примет вид:

$$\tilde{A}_z = \tilde{A} + \tilde{b} \tilde{l}^T = I_4^{(1)} - e_4 (a - \tilde{l})^T.$$

Для того чтобы эта матрица имела требуемые собственные значения необходимо, чтобы коэффициенты ее характеристического уравнения соответствовали вектору $a_{ycm} = (a_n^{ycm}, a_{n-1}^{ycm}, \dots, a_1^{ycm})^T$, где a_i^{ycm} – коэффициенты характеристического полинома матриц A_z и \tilde{A}_z . Тогда

$$a_{ycm} = a - \tilde{l},$$

а коэффициенты регулятора определяются соотношением

$$l = (Q^T)^{-1} (a - a_{ycm}) \quad (11)$$

и обеспечивают желаемые собственные значения в замкнутой системе [16].

Синтез обратной связи для нелинейной системы

Рассмотрим методику синтеза регулятора для модели, которая в безразмерных переменных и коэффициентах имеет вид [17]:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \alpha(x_2 - x_1^3 - cx_1); \\ \dot{x}_2 = x_1 - x_2 + x_3; \\ \dot{x}_3 = -\beta x_2. \end{cases} \quad (12)$$

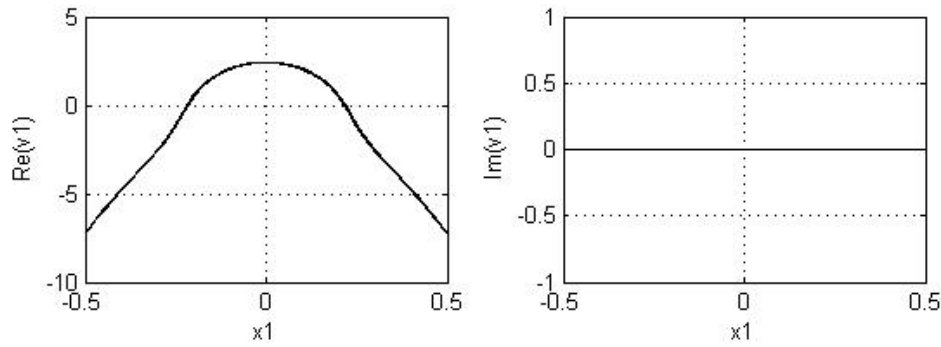
Будем использовать следующие значения параметров системы $\alpha = 10$; $\beta = 16$; $c = -0,143$, при которых характеристические показатели Ляпунова системы Чуа (12) равны $\chi_1 = 0,3079$; $\chi_2 = -0,0179$; $\chi_3 = -2,8897$ и соответствуют спектру (2в), что свидетельствует о наличии хаоса и, следовательно, аттрактор системы – странный.

Матрица Якоби (7) нелинейной системы зависит от значений фазовых координат точки, в которой она вычисляется

$$J = \begin{bmatrix} -\alpha & 3x_1^2 + c & \alpha & 0 \\ 1 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & -\beta & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Матрица Якоби (13) при заданных параметрах системы зависит только от фазовой координаты x_1 . Выберем точку x^* на траектории неуправляемой системы (12), в которой необходимо изменить собственные числа матрицы Якоби. Для этого рассмотрим зависимость собственного числа матрицы Якоби λ_1 от x_1 на траектории системы (12), начинающейся в точке $x(0) = [0,46619; 0,066858; -0,46044]^T$ (см. рисунок 1). Из графика видно, что значение собственного числа симметрично относительно точки $x_1 = 0$, и эта точка является точкой локального экстремума функций $\lambda_i(x_1)$. В качестве точки x^* выбираем точку, в которой $x_1 = 0$. Точка $x^* = [0; 0; 0]^T$ – особая точка системы (12). В точке x^* матрица Якоби равна J^* , а вектор её собственных значений равен

$$\lambda^* = +2,4283 + 0,0000i; -0,9991 + 2,9024i; -0,9991 - 2,9024i.$$

Рис. 1 – Зависимость действительной и мнимой части λ_1 от x_1

Исходную систему (12) необходимо изменить так, чтобы в точке x^* матрица Якоби \bar{J}^* замкнутой системы имела заданные собственные значения: $\bar{\lambda}^* = \alpha \lambda^*$ (α – параметр, близкий к единице)

$$\bar{J}^* = J^* + bl,$$

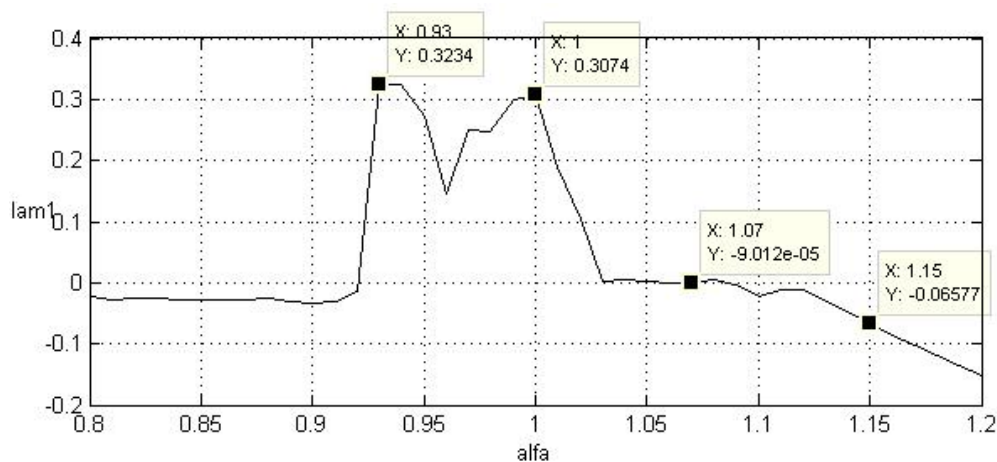
где $l \in R^{1 \times n}$ – коэффициент обратной связи, который находится по формуле (11).

При управлении первой компонентой фазового вектора система (12), замкнутая модальным регулятором, принимает вид

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \alpha(x_2 - x_1^3 - cx_1) + l_1 x_1 + l_2 x_2 + l_3 x_3; \\ \dot{x}_2 = x_1 - x_2 + x_3; \\ \dot{x}_3 = -\beta x_2. \end{cases} \quad (14)$$

Зависимость показателя Ляпунова χ_1 от α имеет вид (см. рисунок 2). Из графика зависимости χ_1 от α выбирается α^* так, чтобы либо сформировать предельный цикл, либо подавить хаос. Для формирования предельного цикла необходимо выбрать α^* такой, что $\chi_1(\alpha^*) = 0$. Тогда аттрактором замкнутой системы будет предельный цикл. Возьмем $\alpha^* = 1,07$, так как при нём второй показатель Ляпунова минимальный. Величине $\alpha^* = 1,07$ соответствует коэффициент обратной связи $l^* = 0,03 \quad -1,69 \quad -0,292$ и спектр характеристических показателей Ляпунова (5) $\chi_1 = 0; \chi_2 = -1,795; \chi_3 = -1,802$. Последнее свидетельствует об устойчивости нелинейной системы (14) с синтезированным управлением.

График проекции траектории замкнутой системы с начальным условием $x(0) = [0,46619; 0,066858; -0,46044]^T$ на фазовую плоскость x_1, x_2 имеет вид (см. рисунок 3).

Рис. 2 – Зависимость χ_1 от α

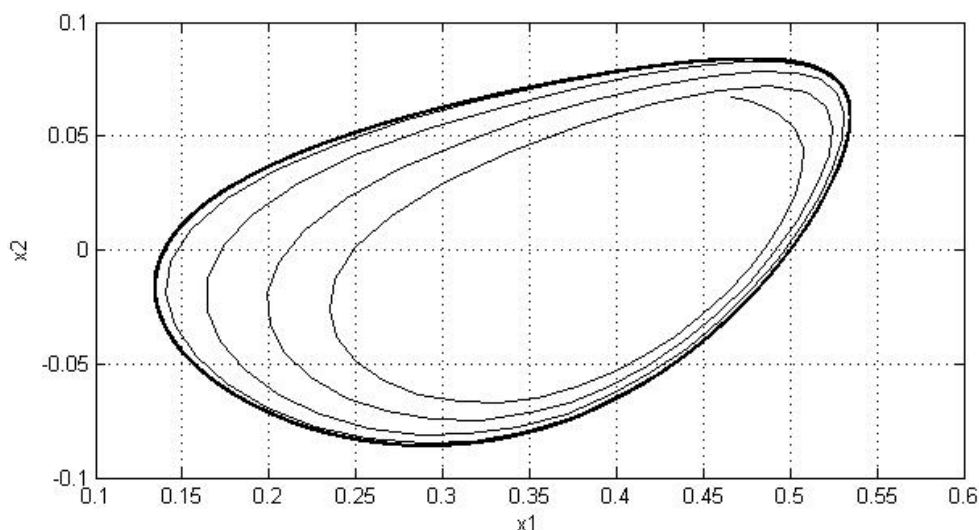


Рис. 3 – Предельный цикл системы с обратной связью

Возьмём коэффициент α^* такой, что $\chi_1(\alpha^*) < 0$, тогда аттрактором замкнутой системы будет особая точка. Выберем параметр $\alpha^* = 1,15$. Ему соответствуют коэффициент обратной связи $l^* = 0,0646$ $-1,54$ $-0,68$ и спектр отрицательных характеристических показателей Ляпунова $\chi_1 = -0,0660$; $\chi_2 = -0,0656$; $\chi_3 = -5,8976$, что свидетельствует об устойчивости нелинейной системы с обратной связью. График проекции траектории замкнутой системы с начальными условиями $x(0) = [0,46619; 0,066858; -0,46044]^T$ на фазовую плоскость x_1, x_2 имеет вид (см. рисунок 4).

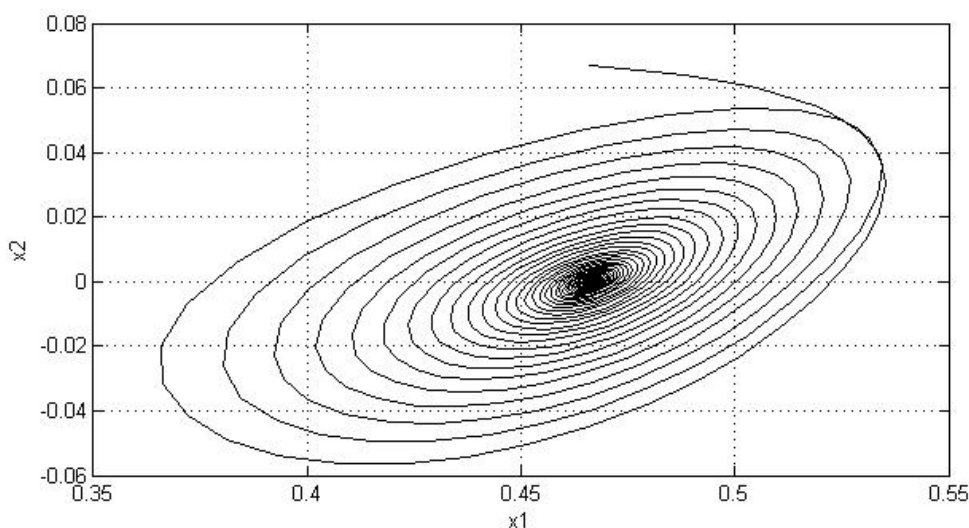


Рис. 4 – Стационарная точка системы с обратной связью

Заключение

Предложена методика синтеза управления, обеспечивающего подавление детерминированного хаоса в нелинейных системах с аффинной структурой. Стабилизация особых точек и предельного цикла в исходной системе с хаотической динамикой достигается формированием соответствующего спектра характеристических показателей Ляпунова. Регулятор строится в виде обратной связи по фазовым координатам с использованием метода модального управления на основе приведения системы к форме Фробениуса. Рассмотрен пример применения предлагаемой методики для синтеза управления осциллятором Чуа.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Андриевский Б.Р. Управление хаосом: Методы и приложения. Часть 1. Методы / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадков // Автоматика и телемеханика. - 2003. - № 5. - С. 3-45.
2. Анищенко В.С. Лекции по нелинейной динамике / В.С. Анищенко, Т.Е. Вадивасова // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. - 2010. - Т. 18. - № 3. - С. 186-191.
3. Малиницкий Г.Г. Структуры. Вычислительный эксперимент: введение в нелинейную динамику / Г.Г. Малиницкий // М.: Эдиториал УРСС, 2002. - 255 с.

4. Лоскутов А.Ю. Основы теории сложных систем / А.Ю. Лоскутов, А.С. Михайлов // М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007. - 272 с.
5. Крищенко А.П. Подавление хаотической динамики / А.П. Крищенко, А.В. Кавинов // Дифференциальные уравнения. - 2004. - Т. 40. - № 12. - С. 1629-1635.
6. Талагаев Ю.В. Стабилизация осциллятора Диффинга-Ван дер Поля оптимальной коррекцией управляющих параметров / Талагаев Ю.В., Тараканов А.Ф. // Письма в ЖТФ. - 2006. - Т. 36. - Вып. 24. - С. 1-9.
7. Grebogi C. Controlling chaotic dynamical systems / C. Grebogi, Y.C. Lai // Syst. Contr. Lett. -1997. Vol. 31. N 3. P. 307-312.
8. Ott E. Controlling chaos / E. Ott, C. Grebogi, G. Yorke // Phys. Rev. Lett. - 1990. - Vol. 64. - N 11. - P. - 1196-1199.
9. Pyragas K. Continuous control of chaos by self-controlling feedback / K. Pyragas // Phys. Lett. A. - 1992. - Vol. 170. - N 6. - P. - 421-428.
10. Магницкий Н.А. Новые методы хаотической динамики / Н.А. Магницкий, С. В. Сидоров // М.: Едиториал УРСС, 2004. - 320 с.
11. Yamapi R. Harmonic oscillations, stability and chaos control in a non-linear electromechanical system / R. Yamapi, J.B. Chabi Orou // Journal of Sound and Vibration. - 2003. - Vol. 259. - N 5. - P. - 1253-1264.
12. Колесников А.А. Прикладная синергетика: основы системного синтеза / А.А. Колесников // Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. - 384 с.
13. Кучерова В.Ю. Стабилизация состояний равновесия базовых нелинейных моделей с хаотической динамикой / В.Ю. Кучерова, Л.К. Кильчукова // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. - 2015. - № 3. - С. - 96-103.
14. Гробман Д. Гомеоморфизм систем дифференциальных уравнений / Д. Гробман // ДАН СССР. - 1959. - Т. 128. - № 5. - С. 880-881.
15. Будник С.В. Управление крупномасштабными динамическими системами / С.В. Будник, В.Н. Шашихин // СПб.: Изд-во Политехпресс, 2020. - 308 с.
16. Козлов В.Н. Управление энергетическими системами. Ч.1. Теория автоматического управления / В.Н. Козлов, В.Е. Куприянов, В.Н. Шашихин // СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. - 316 с.
17. Matsumoto T.A. Chaotic Attractor from Chua's Circuit / T.A. Matsumoto // IEEE Transactions on Circuits & Systems. - 1984. - Vol. CAS-31. - N 12. - P. - 1055-1058.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Andrievsky B. R. Upravlenie khaosom: Metody i prilozhenija. Chast' 1. Metody [Managing Chaos: Methods and Applications. Part 1. Methods] / B. R. Andrievsky, A. L. Fradkov // Avtomatika i telemekhanika [Automation and telemechanics]. - 2003. - No. 5. - pp. 3-45 [in Russian]
2. Anishchenko V. S. Lekcii po nelinejnoj dinamiki [Lectures on nonlinear dynamics] / V. S. Anishchenko, T. E. Vadivasova // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Fizika' [Higher Education Institutions Bulletin. Applied nonlinear dynamics]. - 2010. - Vol. 18. - No. 3. - pp. 186-191 [in Russian]
3. Malinitsky G. G. Struktury. Vychislitel'nyj ehksperiment: vvedenie v nelinejnuju dinamiku [Structures. Computational experiment: an introduction to nonlinear dynamics] / G. G. Malinitsky // Moscow: Editorial URSS, 2002. - 255 p. [in Russian]
4. Loskutov A. Yu. Osnovy teorii slozhnykh sistem [Fundamentals of the theory of complex systems] / Loskutov A. Yu., Mikhailov A. S. // Moscow: Izhevsk: Institute of Computer Research, 2007. - 272 p. [in Russian]
5. Krishchenko A. P. Podavlenie khaoticheskoi dinamiki [Suppression of chaotic dynamics] / Krishchenko A. P., Kavinov A. V. // Differencial'nye uravnenija [Differential equations]. - 2004. - Vol. 40. - No. 12. - pp. 1629-1635 [in Russian]
6. Talagaev Yu. V. Stabilizacija oscilljatora Diffinga-Van der Polja optimal'noj korrekciej upravljajushhikh parametrov [Stabilization of the Diffing-Van der Pol oscillator by optimal correction of control parameters] / Yu. V. Talagaev, A. F. Tarakanov // Pisma v ZhTF [Applied Physics Letters]. - 2006. - Vol. 36. - Issue. 24. - p. 1-9 [in Russian]
7. Grebogi C. Controlling chaotic dynamical systems / C. Grebogi, Y.C. Lai // Syst. Contr. Lett. -1997. Vol. 31. N 3. P. 307-312.
8. Ott E. Controlling chaos / E. Ott, C. Grebogi, G. Yorke // Phys. Rev. Lett. - 1990. - Vol. 64. - N 11. - P. - 1196-1199.
9. Pyragas K. Continuous control of chaos by self-controlling feedback / K. Pyragas // Phys. Lett. A. - 1992. - Vol. 170. - N 6. - P. - 421-428.
10. Magnitsky N. A. Novye metody khaoticheskoi dinamiki [New methods of chaotic dynamics] / N. A. Magnitsky, S. V. Sidorov // Moscow: Editorial URSS, 2004. - 320 p. [in Russian]
11. Yamapi R. Harmonic oscillations, stability and chaos control in a non-linear electromechanical system / R. Yamapi, J.B. Chabi Orou // Journal of Sound and Vibration. - 2003. - Vol. 259. - N 5. - P. - 1253-1264.
12. Kolesnikov A. A. Prikladnaja sinergetika: osnovy sistemnogo sinteza [Applied synergetics: fundamentals of system synthesis] / Kolesnikov A. A. // Taganrog: Publishing house of Taganrog Technological Institute SFU, 2007. - 384 p. [in Russian]
13. Kucheroва V. Yu. Stabilizacija sostojanij ravnovesija bazovykh nelinejnykh modelej s khaoticheskoi dinamikoi [Stabilization of equilibrium states of basic nonlinear models with chaotic dynamics] / V. Yu. Kucheroва, L. K. Kilchukova // Vestnik AGTU. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika i informatika [Bulletin of ASTU. Series: Management, Computer Engineering and Computer Science]. - 2015. - No. 3. - pp. - 96-103 [in Russian]
14. Grobman D. Gomeomorfizm sistem differencial'nykh uravnenij [Homeomorphism of systems of differential equations] / D. Grobman // DAN USSR. - 1959. - Vol. 128. - No. 5. - pp. 880-881 [in Russian]
15. Budnik S. V. Upravlenie krupnomasshtabnymi dinamicheskimi sistemami [Management of large-scale dynamic systems] / S. V. Budnik, V. N. Shashikhin // Saint Petersburg: Izd-vo Politekhpress, 2020. - 308 p. [in Russian]
16. Kozlov V. N. Upravlenie ehnergeticheskimi sistemami. Ch.1. Teorija avtomaticheskogo upravlenija [Management of energy systems. Vol.1. Automatic control theory] / Kozlov V. N., Kupriyanov V. E., Shashikhin V. N. // St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University, 2006. - 316 p. [in Russian]
17. Matsumoto T.A. Chaotic Attractor from Chua's Circuit / T.A. Matsumoto // IEEE Transactions on Circuits & Systems. - 1984. - Vol. CAS-31. - N 12. - P. - 1055-1058.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.012>

ВНЕДРЕНИЕ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ПОСЛЕ ОТВЕТСТВЕННОЙ ОПЕРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MES-СИСТЕМЫ КАК СПОСОБ МИНИМИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВА ДЕФЕКТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗДЕЛИЙ

Научная статья

Шутиков М.А.^{1,*}, Феофанов А.Н.², Гришина Т.Г.³^{1, 2, 3} Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (mi.shutikov93[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье указано, что применение координатно-измерительной машины (КИМ) после ответственной операции технологического процесса является актуальным в настоящий момент. Для решения задач составления производственного расписания и оптимальной загрузки оборудования используются MES-системы. MES-системы решают такие задачи, как повышение надёжности исполнения заданных сроков производственных заказов, увеличение скорости исполнения заказов, повышение эффективности использования оборудования. В статье рассмотрен вариант внедрения КИМ после ответственной операции изготовления изделия с целью оперативного обнаружения несоответствий геометрических параметров изделия требованиям нормативной документации. Построен график, визуализирующий временные затраты на изготовление детали при внедрении КИМ и без него, как в случае обнаружения, так и в случае необнаружения дефектной продукции. По результатам анализа графика, сформулировано, что внедрение КИМ после ответственной операции в технологический процесс совместно с использованием MES-системы позволит минимизировать количество дефектных деталей на выходе и сократит временные затраты на их изготовление. В целях визуализации последовательности операций технологического процесса производства изделия при внедрении КИМ после ответственной операции, данный технологический процесс представлен в виде нотации IDEF3. Указано, что внедрение КИМ после ответственной операции в технологический процесс является актуальным в аспекте развития инструментов Индустрии 4.0.

Ключевые слова: MES-система, КИМ, производство, технологический процесс.

INTRODUCTION OF A COORDINATE MEASURING MACHINE AFTER A RESPONSIBLE OPERATION USING THE MES SYSTEM AS A WAY TO MINIMIZE THE NUMBER OF DEFECTIVE PARTS IN THE MANUFACTURE OF PRODUCTS

Research article

Shutikov M.A.^{1,*}, Feofanov A.N.², Grishina T.G.³^{1, 2, 3} Moscow State University of Technology "STANKIN", Moscow, Russia

* Corresponding author (mi.shutikov93[at]yandex.ru)

Abstract

The article states that at the moment, the use of a coordinate measuring machine (CMM) after a responsible operation of the technological process is relevant. MES systems are used to solve the problems of creating a production schedule and optimal equipment loading. They solve such tasks as increasing the reliability of the execution of specified production order deadlines, increasing the speed of order execution and the efficiency of equipment use. The article examines the option of implementing CMM after a responsible operation of manufacturing a product in order to promptly detect inconsistencies in the geometric parameters of the product with the requirements of regulatory documentation. A graph is constructed that visualizes the time spent on manufacturing a part during the introduction of CMM and without it, both in case of detection and in case of non-detection of defective products. According to the results of analyzing the graph, it is formulated that the introduction of CMM after a responsible operation into the technological process together with the use of the MES system will minimize the number of defective parts at the output and reduce the time spent on their manufacture. In order to visualize the sequence of operations of the technological process of manufacturing a product when implementing CMM after a responsible operation, this technological process is presented in the form of IDEF3 notation. It is indicated that the introduction of CMM after a responsible operation into the technological process is relevant in the aspect of the development of Industry 4.0 tools.

Keywords: MES-system, CMM, production, technological process.

Введение

На сегодняшний день одним из актуальных вопросов, связанных с развитием цифровой экономики, является автоматизация производственных процессов на предприятиях. Одним из тех процессов, которые могут быть подвергнуты автоматизации, является перерасчет производственного расписания [1].

Такой перерасчет происходит в тех случаях, когда на ход технологического процесса влияют какие-либо несоответствия. Одним из таких несоответствий является дефектная продукция. Дефект может быть как неустраняемым, так и устранимым. В том случае, если дефект устранимый, то определяется та операция, на которой произошло отклонение от нормального функционирования технологического процесса и деталь отправляется на доработку. Если же дефект является неустраняемым, такую деталь отправляют в изолятор брака, и определяется необходимость в изготовлении дополнительного количества деталей. В любом из этих случаев, производится перерасчет производственного расписания. Однако даже в условиях мелкосерийного производства произвести перерасчет производственного расписания и при этом оптимально загрузить используемое для изготовления и контроля технологическое и измерительное оборудование без помощи специализированных программных инструментов не представляется возможным [2].

В этой связи актуальным является произвести автоматизацию перерасчета производственного расписания путем внедрения автоматизированной системы перерасчета производственного расписания (MES-системы).

Системы такого типа планируют производственное расписание таким образом, чтобы оптимально загрузить производственное оборудование, используемое в технологических процессах предприятия [3]. MES-система является специализированным прикладным программным обеспечением, предназначенным для решения задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции в рамках какого-либо производства [4].

Применение MES позволяет:

- на 60 % повысить надёжность исполнения заданных сроков производственных заказов;
- значительно увеличить скорость исполнения заказов без дополнительных инвестиций в производство;
- провести оптимизацию объёма незавершённого производства, таким образом происходит снижение связанного оборотного капитала на 20-30%;
- увеличить фондоотдачу технологического оборудования за счёт повышения коэффициента загрузки станков на 30-40 %;
- заметно снизить себестоимость продукции за счёт минимизации непроизводительных простоев технологического оборудования;
- оперативно выявить дефекты с последующей компенсацией возникающего дефицита и обеспечить надлежащего качества выпускаемых деталей.

Из вышесказанного следует, что необходимо разработать концепцию применения систем оптимальной загрузки измерительного оборудования и коррекции загрузки станочного оборудования на основе результатов контроля деталей в условиях мелкосерийного производства [5].

Кроме того, применение MES-системы позволяет повысить уровень цифровизации производства. Например, анализируя временные ограничения на производство определенного количества продукции заданного типа, цифровой двойник предприятия на основе получения информации от MES системы, предложит оптимальный вариант решения возникающей задачи, учитывая при этом и другие ограничения, которые были заданы по умолчанию. Решение таких многокритериальных задач позволяет добиться повышения оперативности и эффективности функционирования предприятия [6].

Методы и принципы исследования

Для обеспечения контроля параметров изготавливаемых деталей необходимо после ответственной операции включить в технологический процесс высокоточное измерительное оборудование, которое обладает так же и высокой степенью автоматизации – например КИМ. В качестве примера, рассмотрим технологический процесс изготовления корпусной детали, использующейся для защиты оптических элементов в конечном изделии. Данная деталь изготавливается на предприятии машиностроительной отрасли. Технологический процесс изготовления детали состоит из 25 операций, из которых наиболее ответственной операцией является токарно-винторезная операция фрезерования посадочных отверстий под подшипники. К наиболее частым дефектам относится несоответствие геометрических параметров обработанных отверстий требованиям, установленным в конструкторской документации. На рисунке 1 представлены варианты технологического процесса с внедрением КИМ и без него, как в случае обнаружения, так и в случае необнаружения дефектной продукции.

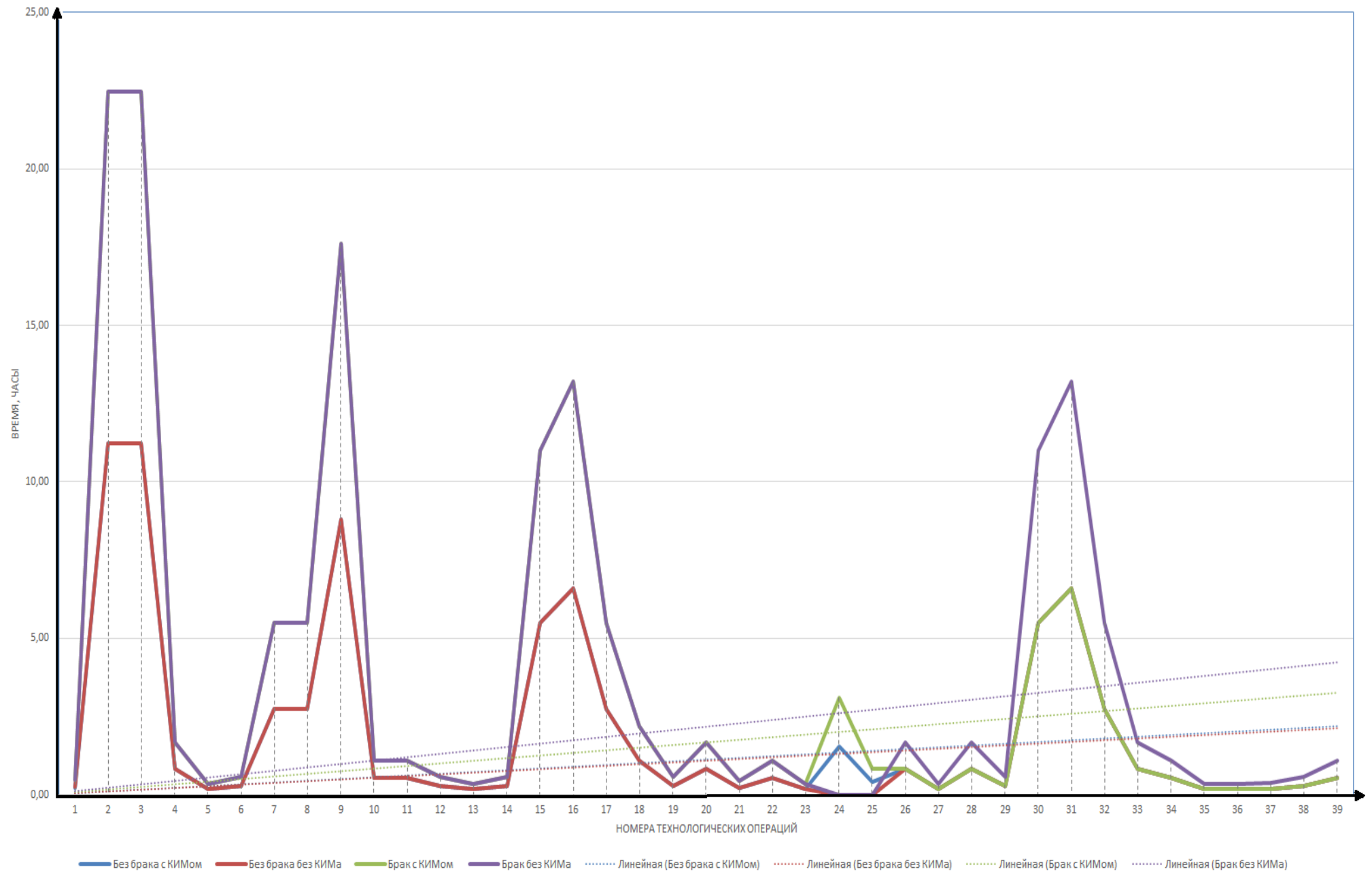


Рис. 1 – График визуализации временных затрат при различных вариантах реализации технологического процесса изготовления детали

На графике ломанные линии представляют собой разные варианты технологического процесса. По оси абсцисс представлены операции технологического процесса, по оси ординат – время в часах. Пунктирные линии представляют собой линейную зависимость каждого варианта изготовления деталей согласно технологическому процессу. Исходя из анализа графика можно сделать вывод, что внедрение КИМ незначительно повысит время изготовления изделия, однако при обнаружении дефекта без высокоточного измерительного оборудования время изготовления или доработки деталей значительно увеличивается.

Для того, чтобы визуализировать технологический процесс производства какого-либо изделия при внедрении КИМ после ответственной операции, воспользуемся графическим средством описания взаимосвязей и последовательности этапов процесса – нотацией вида IDEF3.

IDEF3 – технология, позволяющая собирать данные для проведения структурного анализа. При помощи этой нотации появляется возможность определить взаимосвязи элементов процесса, акцентируя внимание на очередности выполнения функций в целом. Благодаря технологии IDEF3 появляется возможность разрабатывать и анализировать альтернативные сценарии развития изучаемых бизнес-процессов.

Для варианта технологического процесса в случае применения КИМ после ответственной операции, который соответствует линии салатового цвета на рисунке 1, построим модель нотации IDEF3 процесса пересчёта производственного расписания в случае обнаружения дефекта детали, представленную на рисунке 2.

Входными данными модели является детали, полученные после ответственной операции [7]. Первым этапом является передача детали на контрольную операцию, на стол координатно-измерительной машины. Далее происходит непосредственная процедура контроля соосности отверстий детали. Затем получившиеся результаты сравнивают со значениями, установленными в конструкторской документации. Далее возможны различные варианты развития процесса. Если измеренные значения соосности соответствуют установленным в конструкторской документации, деталь передается на дальнейшие операции технологического процесса.

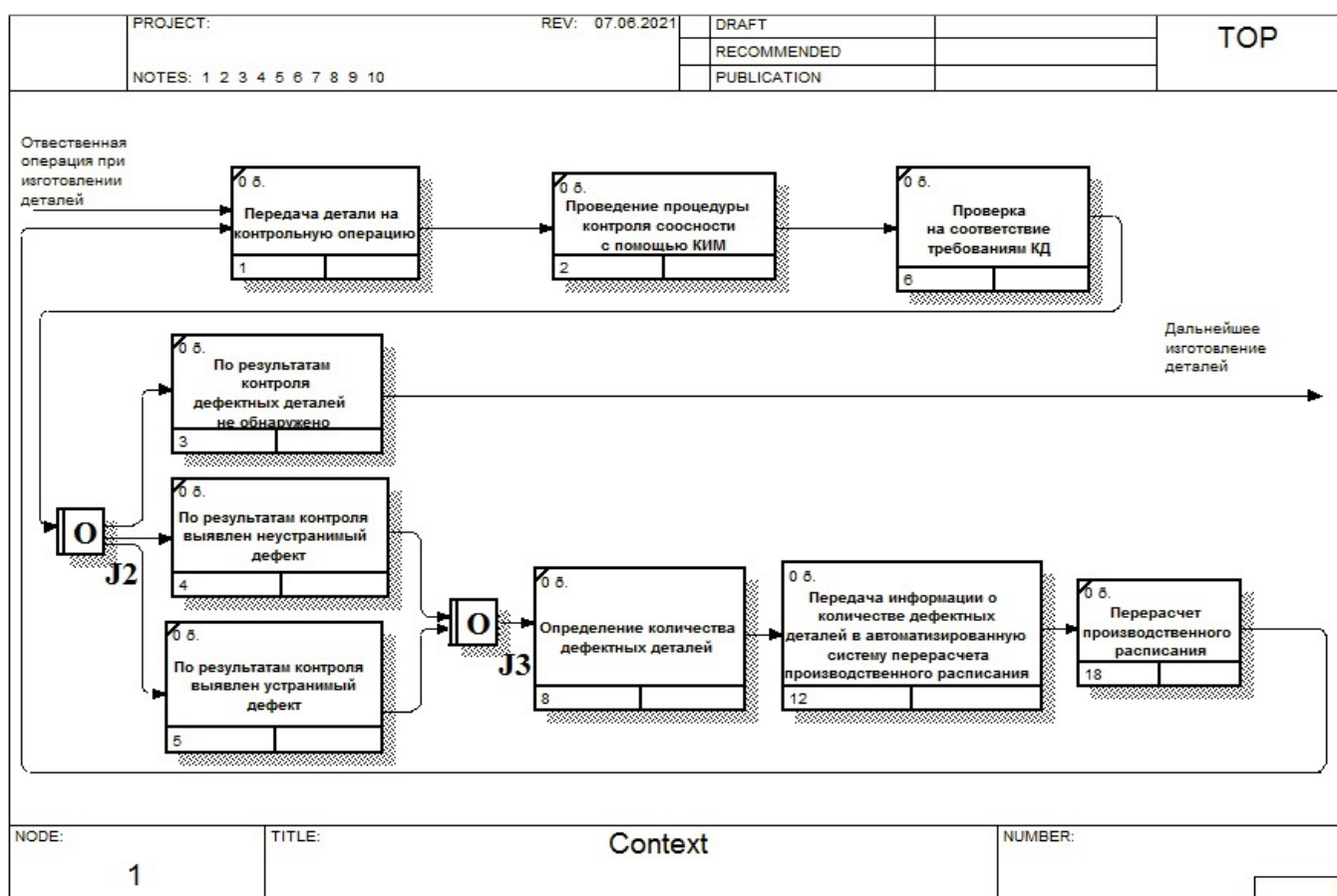


Рис. 2 – Модель нотации IDEF3 перерасчета производственного расписания в случае обнаружения дефектных деталей при помощи КИМ после ответственной операции

Если же выявлено несоответствие конструкторской документации, происходит определение возможности исправления обнаруженного дефекта. В том случае, если его возможно устранить, в автоматизированную систему перерасчета производственного расписания передается информация о том, на какую технологическую операцию необходимо передать дефектную деталь, и происходит автоматический перерасчет производственного расписания исходя из складывающейся производственной ситуации. Если дефект является неустранимым, то в автоматизированную систему вносится информация о количестве дефектных деталей и необходимости выпуска новой партии взамен забракованной, после чего происходит перерасчет производственного расписания [8], [9]. Таким образом, обеспечивается оптимальная загрузка технологического оборудования и исполнение сроков выпуска партии деталей [10].

Основные результаты

Внедрение КИМ после ответственной операции позволяет минимизировать количество дефектных деталей в партии на выходе технологического процесса, что, в свою очередь, позволяет увеличить коэффициент качества как одного из сомножителей показателя эффективности использования оборудования ОЕЕ. Данный показатель является одним из ключевых для оценки производительности промышленного производства и его увеличение служит целям повышения конкурентоспособности всего предприятия в целом.

Кроме того, снижение количества дефектных деталей благоприятно сказывается с точки зрения применения концепции бережливого производства. Согласно данной концепции, существует семь основных причин потерь: дефекты, перепроизводство, ожидание, транспортировка, излишние запасы, передвижение и излишние процессы.

Таким образом, внедрение КИМ в технологический процесс после ответственной операции с применением MES-системы позволяет сократить временные потери, связанные с ожиданием изготовления деталей взамен дефектных и минимизировать количество таких дефектных деталей [11].

Заключение

Таким образом, внедрение КИМ после ответственной операции позволяет на ранних этапах своевременно выявить дефектные детали и существенно сократить временные затраты на их изготовление. При таком внедрении повышается эффективность функционирования технологических процессов и, как следствие, самой организации в целом.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Шутиков М.А. Повышение эффективности работы ОТК на основе интеграции базы данных результатов контроля с системами оперативного планирования категории MES / А. Н. Феофанов, Е. Б. Фролов, В. В. Крюков и др. // Технология машиностроения. – 2020. – № 12. – С. 61-64.
2. Шутиков М.А. MES – системы как инструмент оптимизации загрузки контрольно-измерительного оборудования предприятия / М.А. Шутиков, А.Н. Феофанов. // Новые подходы и технологии проектирования, производства, испытаний и промышленного дизайна изделий ракетно-космической техники: сборник трудов II международной молодежной конференции. - 2018. С. 315-318
3. Фролов, Е.Б. Производственные исполнительные системы MES: реальная эффективность / Е.Б. Фролов. // Вестник компьютерных и информационных технологий: журнал, 2005. – №5. – С. 48-50.
4. Силаев, А. А. Обзор MES систем. Основные функции / А. А. Силаев, В. Ю. Чернова, М. С. Григорьев // Дневник науки. – 2019. – № 5(29). – С. 34
5. Загидуллин, Р.Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP / Р.Р. Загидуллин: монография – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 372 с.
6. Пономарев, К. С. Цифровой двойник как инструмент цифровой трансформации предприятия / К. С. Пономарев, М. А. Шутиков, А. Н. Феофанов // Вестник МГТУ Станкин. – 2019. – № 4(51). – С. 19-23.
7. Хвастунов Р.М. Квалиметрия в машиностроении: учебник / Р.М. Хвастунов, А.Н. Феофанов, В.М. Корнеева и др. - М.: Изд-во «Экзамен». - 2009. - 285 с.
8. Фролов, Е.Б. MES-системы. Критерии, которые мы выбираем. [Электронный ресурс]. / Е.Б. Фролов, Р.Р. Загидуллин // — URL: <http://www.fobos-mes.ru/stati/mes-sistemyi.-kriterii-kotoryie-myi-vyibiraem.html> (дата обращения: 10.07.2021).
9. Загидуллин, Р.Р. Оперативно-календарное планирование в гибких производственных системах. / Р.Р. Загидуллин, под. ред. В.Ц. Зориктуева. — М.: Изд-во МАИ, 2004. — 208 с.
10. Будник, Р.А. MES-системы: задачи и решения / Р.А. Будник. // Мир компьютерной автоматизации: журнал, 2003. – №4 – С. 74-78.
11. Shutikov, M. A. Introducing a quality factor into the MES system when calculating machinery production schedule together with measuring equipment / M. A. Shutikov, A. N. Feofanov, K. S. Ponomarev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : Sep. 4 2020 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2020, Sevastopol, 07–11 сентября 2020 года. – BRISTOL, ENGLAND, 2020. – P. 042079. – DOI 10.1088/1757-899X/971/4/042079.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Shutikov M.A. Povyshenie jeffektivnosti raboty OTK na osnove integracii bazy dannyh rezul'tatov kontrol'a s sistemami operativnogo planirovanija kategorii MES [Improving the efficiency of the quality control department based on the integration of the database of control results with the operational planning systems of the MES category] / A. N. Feofanov, E. B. Frolov, V. V. Krjukov, M. A. Shutikov // Tehnologija mashinostroenija [Mechanical engineering technology]. – 2020. – № 12. – P. 61-64. [in Russian]
2. Shutikov M.A. MES – sistemy kak instrument optimizacii zagruzki kontrol'no-izmeritel'nogo oborudovanija predpriyatija [MES-systems as an instrument for optimizing the loading of control and measuring equipment of the enterprise] / M.A. Shutikov, A.N. Feofanov. // Novye podhody i tehnologii proektirovanija, proizvodstva, ispytanij i promyshlennogo dizajna izdelij raketno-kosmicheskoy tehniki: sbornik trudov II mezhdunarodnoj molodjzhnoj konferencii [New approaches and technologies of design, production, testing and industrial design of rocket and space technology products: proceedings of the II International Youth Conference] – 2018. P. 315-318. [in Russian]
3. Frolov, E.B. Proizvodstvennye ispolnitel'nye sistemy MES: real'naja jeffektivnost' [MES production execution systems: real efficiency] / E.B. Frolov // Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologii [Herald of computer and information technologies]: journal, 2005. – №5. – P. 48-50. [in Russian]

4. Silaev, A. A. Obzor MES sistem. Osnovnye funkcii [MES systems overview. Main functions] / A. A. Silaev, V. Ju. Chernova, M. S. Grigor'ev // Dnevnik nauki [Science diary]. – 2019. – № 5(29). – P. 34
5. Zagidullin, R.R. Upravlenie mashinostroitel'nym proizvodstvom s pomoshh'ju sistem MES, APS, ERP [Management of mechanical engineering production using MES, APS, ERP systems] R.R. Zagidullin: monografiya – Staryj Oskol: TNT, 2011. – 372 p. [in Russian]
6. Ponomarev, K. S. Cifrovoy dvojnik kak instrument cifrovoy transformacii predpriyatija [Digital twin as a tool for digital transformation of the enterprise] / K. S. Ponomarev, M. A. Shutikov, A. N. Feofanov / Vestnik MSTU “STANKIN” [Herald of “STANKIN”] – 2019. – № 4(51). – P. 19-23. [in Russian]
7. Hvastunov R.M. Kvalimetrija v mashinostroenii: uchebnik [qualimetry in mechanical engineering: textbook] / R.M. Hvastunov, A.N. Feofanov et al. - M.: Publishing house «Jekzamen» - 2009. - 285 p[in Russian]
8. Frolov, E.B. MES-sistemy. Kriterii, kotorye my vybiraem. [MES-systems. The criteria that we choose] [Electronic resource] / E.B. Frolov, R.R. Zagidullin // - URL: <http://www.fobos-mes.ru/stati/mes-sistemyi.-kriterii-kotoryie-myi-vybiraem.html> (accessed: 10.07.2021). [in Russian]
9. Zagidullin, R.R. Operativno-kalendar'noe planirovanie v gibkih proizvodstvennyh sistemah. [Operational and calendar planning in flexible production systems.] R.R. Zagidullin, edited by V.C. Zoriktueva. — M.: Publishing house MAI, 2004. — 208 p. [in Russian]
10. Budnik, P.A. MES-sistemy: zadachi i reshenija [MES-systems. Tasks and solutions] / P.A. Budnik. // Mir komp'yuternoj avtomatizacii: zhurnal [The world of computer automation: magazine], 2003. – №4 – P. 74-78.
11. Shutikov, M. A. Introducing a quality factor into the MES system when calculating machinery production schedule together with measuring equipment / M. A. Shutikov, A. N. Feofanov, K. S. Ponomarev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : Ser. 4 2020 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2020, Sevastopol, 07–11 сентября 2020 года. – BRISTOL, ENGLAND, 2020. – P. 042079. – DOI 10.1088/1757-899X/971/4/042079.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.013>

ВОЗБУДИТЕЛИ АНИЗАКИДОЗА И ИХ ЛОКАЛИЗАЦИЯ У МОРСКИХ РЫБ СЕВЕРООХОТОМОРСКИХ ПОПУЛЯЦИЙ

Научная статья

Витомскова Е.А.^{1,*}, Кузьмин А.М.², Жулева В.И.³^{1, 2, 3} Магаданский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Магадан, Россия

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

Аннотация

Практически вся морская рыба североохоотоморских популяций инвазирована возбудителями анизакидоза – опасного гельминтозного заболевания, передающегося человеку и животным. В настоящее время в Магаданской области не проводятся исследования по выяснению эпидемиолого-эпизоотологической значимости добываемых видов рыб акватории северного Охотоморья. Вышеизложенное определило цель, которая заключалась в определении таксономического статуса возбудителей анизакидоза, их локализации и заражённости рыб. Исследованы пять видов морских рыб (сельдь тихоокеанская *Clupea pallasii*, навага *Eleginus gracilis*, камбала колючая *Acanthopsetta nadeshnyi*, камбала звёздчатая *Platichthys stellatus*, корюшка зубатая *Osmerus mordax dentex*) в количестве 202 особей, выловленных в акватории Охотского моря северной его части в весенне-летний период 2021 года, а также изучена локализация и степень заражённости рыбы в сравнительном аспекте. Инвазирование личинками *Anisakis simplex* и *Pseudoterranova decipiens* составила: корюшки зубатой 72,0%, наваги 68,0%, камбалы звёздчатой и камбалы колючей 66,6%, сельди – 100,0%. Средний показатель интенсивности инвазии и предельные его значения имели существенные различия на межвидовом уровне у исследуемых рыб. У корюшки зубатой и камбалы звёздчатой показатели имели не существенные отличия: И.И. 1-5 (3,0) экз. и 1-3 (1,7) экз. соответственно; у наваги и камбалы колючей интенсивность заражения оказалась выше – И.И. 1-12 (7,0) экз. и 5-12 (4,4) экз. соответственно. Самые высокие значения интенсивности инвазии отмечены у сельди – 10-34 (15,0). Наибольшее количество гельминтов локализуется на внутренних органах (66,9 %), в полости тела – 30,8 %, в мышцах – 2,3 %. В результате проведённых исследований сделан вывод, что наибольшую эпидемиолого-эпизоотологическую значимость имеют корюшковые и камбаловые рыбы ввиду локализации личинок анизакид в толще брюшных и спинных мышц как самых употребляемых в пищу и рыбопереработку.

Ключевые слова: анизакидоз, северное Охотоморье, морские рыбы, *Anisakis simplex*, *Pseudoterranova decipiens*, тонкостенные капсулы.

PATHOGENS OF ANISAKIDOSIS AND THEIR LOCALIZATION IN SALTWATER FISH OF THE POPULATIONS IN THE NORTHERN REGION OF THE SEA OF OKHOTSK

Research article

Vitomsikova E.A.^{1,*}, Kuzmin A.M.², Zhuleva V.I.³^{1, 2, 3} Magadan Scientific Research Institute of Agriculture, Magadan, Russia

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

Abstract

Almost all saltwater fish of the North Sea populations are invaded by pathogens of anisakidosis, a dangerous helminthic disease transmitted to humans and animals. Currently, there are no studies being conducted in Magadan Oblast to clarify the epidemiological and epizootological significance of the fish species being harvested in the waters of the northern Okhotsk Sea. The information stated above determines the aim of the study, which is to determine the taxonomic status of the pathogens of anisakidosis, their localization and infection of fish. The article examines five species of saltwater fish (Pacific herring *Clupea pallasii*, saffron cod *Eleginus gracilis*, scale-eye plaice *Acanthopsetta nadeshnyi*, starry flounder *Platichthys stellatus*, rainbow smelt *Osmerus mordax dentex*) in an amount of 202 specimens caught in the northern part of the Sea of Okhotsk in the spring and summer of 2021; also, the article contains a study of the localization and degree of contamination of fish in a comparative aspect. The degree of the presence of the larvae of *Anisakis simplex* and *Pseudoterranova decipiens* in *Osmerus mordax dentex* amounted to 72.0%, *Eleginus gracilis* — 68.0%, *Platichthys stellatus* and *Acanthopsetta nadeshnyi* — 66.6%, herring — 100.0%. The average indicator of the intensity of invasion and its maximum values had significant differences at the interspecific level in the fish under study. The indicators of the toothed smelt and the stellate flounder did not have significant differences: infection intensity 1-5 (3,0) specimens and 1-3 (1,7) specimens. accordingly, the intensity of infection was higher in *Eleginus gracilis* and prickly flounder — infection intensity 1-12 (7.0) specimens and 5-12 (4.4) specimens, respectively. The highest values of infection intensity were observed in herring: 10-34 (15.0). The largest number of helminths is localized on the internal organs (66.9 %), body cavity – 30.8%, the muscles – 2.3 %. As a result of the conducted studies, it was concluded that smelt and flounder fish have the greatest epidemiological and epizootological significance due to the localization of anisakis larvae in the layers of the abdominal and dorsal muscles as the most consumed for food and fish processing.

Keywords: anisakidosis, northern Sea of Okhotsk, marine fish, *Anisakis simplex*, *Pseudoterranova decipiens*, thin-walled capsules.

Введение

Анизакидоз – это гельминтозное заболевание человека и животных, которое вызывается личиночной стадией нематод семейства Anisakidae. Практически все морские рыбы Мирового океана инвазированы представителями этого семейства нематод [2], [3], [4], [8].

Изучение видового состава гельминтов, инвазирования большинства видовых популяций рыб морской фауны, экстенсивности и интенсивности инвазии, локализации гельминтов в теле рыбы, представление ихтиопаразитологического мониторинга являются основополагающими для разработки мер профилактики опасных гельминтозооантропонозов [5], [9]. Поэтому, выяснение эпидемиологической и эпизоотологической значимости возбудителей анизакидоза, передающихся через морских рыб, является актуальной проблемой для ветеринарии и медицины Магаданской области. Цель работы заключалась в определении видового состава и локализации возбудителей анизакидоза, а также заражённости ими изучаемых видов рыб.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в весенне-летний период во время пяти экспедиционных выездов на рыбохозяйственные водоёмы акватории северного Охотоморья: Ольский лиман, Нюклинская коса, бухты Гертнера и Нагаева, предустье реки Тауй. Методом неполного гельминтологического вскрытия [6] исследовано 202 особи пяти видов морских рыб: сельди тихоокеанской (*Clupea pallasii*), навага (*Eleginus gracilis*), камбалы колючей (*Acanthopsetta nadeshnyi*), камбалы звёздчатой (*Platichthys stellatus*), корюшки зубатой (*Osmerus mordax dentex*).

Проводя вскрытие и оценивая уровень инвазирования, использовались положения и нормы, регламентированные Методикой [6] и Санитарными правилами и нормами [10]. Видовую принадлежность личинок гельминтов определяли, руководствуясь Определителем наиболее распространённых паразитов рыб дальневосточных морей [1]. Личинок изучали как в живом, так и в фиксированном состоянии [7]. Изучено 75 экземпляров личинок нематод. Жизнеспособность личинок нематод, обнаруженных в рыбе, определялась механическим и физиологическим тестом [6]. Анализ материала проводился с использованием показателей заражённости рыб личинками гельминтов: экстенсивность инвазии (степень заражённости рыб в процентах) и интенсивность инвазии (среднее число гельминтов в заражённой рыбе с указанием предельных значений).

Основные результаты

Результат ихтиопаразитологических исследований показал, что у всех видов рыб выявлены гельминты, относящихся к классу Nematoda, семейству Anisakidae, двум родам: *Anisakis*, *Pseudoterranova*. Нами обнаружены два вида личинок анизакид: *Anisakis simplex*, larvae (Dujardin, 1845), *Pseudoterranova decipiens*, larvae (Krabbe, 1878; Gibson, 1981). Общий показатель заражённости личинками обоих видов оказался примерно на одном уровне: у корюшки зубатой Э.И.=72,0%, наваги Э.И.=68,0%; у камбалы звёздчатой и камбалы колючей - на одном уровне Э.И.= 66,6%. И только у сельди показатель заражённости достиг предельных значений (Э.И.=100,0%). Средний показатель интенсивности инвазии и предельные его значения у корюшки зубатой и камбалы звёздчатой имели незначительные отличия: И.И. 1-5 (3,0±0,71) экз. и 1-3 (1,7±0,24) экз. соответственно; у наваги и камбалы колючей интенсивность заражения расширила диапазон и составила И.И. 1-12 (7,0±1,7) экз. и 5-12 (4,4±0,20) экз. соответственно. Самый высокие значения отмечены у сельди – 10-34 (15,0±2,16) экз. на одну заражённую рыбу (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика заражённости рыб и локализации личинок родов *Anisakis* и *Pseudoterranova*

Наименование рыбы	Исследовано экз.	Заражено		ИИ лимиты (среднее) M±m	Всего личинок	В том числе		
		экз.	%			в полостителя, %	на внутренних органах, %	мышцы, %
корюшка зубатая (<i>Osmerus mordax dentex</i>)	25	18	72,0	1-5(3,0)±0,7	75	20,2	30,6	49,4
Навага (<i>Eleginus gracilis</i>)	50	34	68,0	1-12(7,0)±1,7	238	15,1	84,9	-
камбала звёздчатая (<i>Platichthys stellatus</i>)	15	10	66,6	1-3(1,7)±0,2	17	47,0	35,2	17,8
камбала колючая (<i>Acanthopsetta nadeshnyi</i>)	15	10	66,6	5-12(4,4)±0,2	44	54,5	38,6	6,9
Сельдь (<i>Clupea pallasii</i> Valenciennes)	97	97	100,0	10-34(15,0)±2,1	1500	33,0	67,0	-
Итого:	202	169	83,6		1874	30,8	66,9	2,3

Примечание: ИИ (интенсивность инвазии) – количество личинок, зарегистрированных в одной заражённой рыбе

Из таблицы 1 видно, что общая заражённость всех видов исследуемых рыб личинками *Anisakis simplex* *Pseudoterranova decipiens* составила 83,6 %. Наибольшее количество гельминтов в процентном выражении локализуется на внутренних органах (66,9 %) рыб, в полости тела – 30,8 % и наименьший показатель отмечился в мышцах – 2,3 %. Процентное соотношение личинок анизакид по областям локализации разнится у каждого вида рыбы. Так, в мышцах у наваги и сельди личинки гельминтов отсутствовали, однако самая высокая степень концентрации личинок у этих рыб обнаружена на внутренних органах (печень, почка, селезёнка, сердце, брыжейка кишечника, пилорические придатки, икра, молоки) и составила: 84,9 % и 67,0 % соответственно. У корюшки, камбалы звёздчатой, камбалы колючей локализация гельминтов на внутренних органах отмечалась примерно на одном уровне и составила: 30,6 %, 35,2 %, 38,6 % соответственно. В полости тела личинки обнаружены у всех исследуемых видов рыб.

Наглядно, показатели процентного содержания личинок анизакид в областях локализации каждого вида рыб представлены на Рис. 1

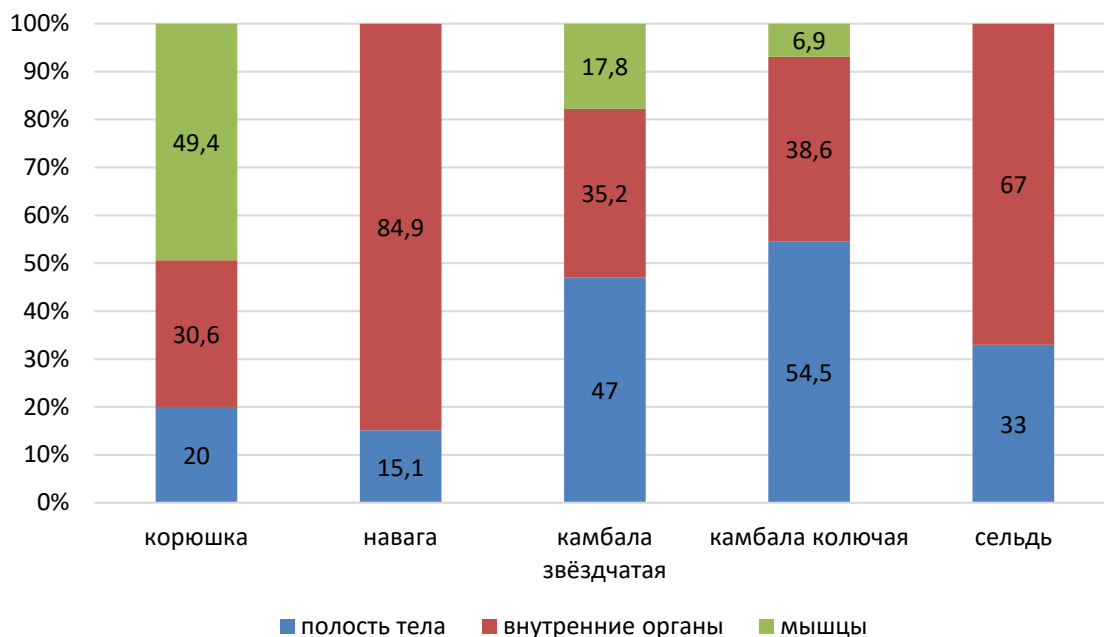


Рис. 1 – Количественные показатели локализации гельминтов у разных видов рыб

Мы изучили вопрос локализации гельминтов в теле рыбы, то есть длительности и состояния пребывания в месте внедрения или процесса совершения миграции, и зависимости от видовой принадлежности гельминта. Выяснилось, что у корюшки зубатой и камбалы колючей установлена смешанная инвазия (*Anisakis simplex* и *Pseudoterranova decipiens*), у сельди и наваги – моноинвазия *Anisakis simplex*. У сельди и наваги личинки *Anisakis simplex* локализуются в полости тела (в свободном состоянии и без капсул) и на внутренних органах (в тонкостенных капсулах), а у камбалы и корюшки – в полости тела, на внутренних органах (в тонкостенных капсулах) и в мышцах. Личинки *Pseudoterranova decipiens*, обнаруженные в мышцах спины, заключены в капсулы, что указывает на длительность инвазии; в полости тела эти личинки обнаружены в свободном состоянии, а на внутренних органах не зарегистрированы. Личинки *Anisakis simplex* активно мигрируют из полости тела рыбы в брюшные мышцы и мышцы спины, что хорошо заметно по кровотокающим следам проникновения в мышцы.

Заключение

Проанализировав данные, мы пришли к заключению, что все исследованные виды морских рыб (сельдь тихоокеанская *Clupea pallasii*, навага *Eleginus gracilis*, камбала колючая *Acanthopsetta nadeshnyi*, камбала звёздчатая *Platichthys stellatus*, корюшка зубатая *Osmerus mordax dentex*) инвазированы двумя видами возбудителей анизакидоза: *Anisakis simplex* и *Pseudoterranova decipiens*. По степени заражённости и по интенсивности инвазии выделяется сельдь тихоокеанская. Однако, эпидемиологическая значимость отмечена у корюшки, камбалы колючей и камбалы звёздчатой ввиду локализации гельминтов в толще брюшных и спинных мышцах рыбы. Все гельминты обнаружены в живом состоянии.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Буторина, Т.Е. Определитель наиболее распространённых паразитов рыб дальневосточных морей / Т.Е. Буторина, Владивосток, 1997, 115 с.
2. Витомскова, Е.А. Гельминты промысловых рыб северной части бассейна Охотского моря, опасные для человека и животных / Е.А. Витомскова. - Магадан: Изд-во МНИИСХ РАСХН, 2003. – 132 с.
3. Витомскова, Е.А. Гельминты промысловых рыб северного Приохотья, опасные для человека и животных: автореф. дис. ... канд. ветер. наук: 03.00.19 / Е.А. Витомскова; Московская гос. акад. ветер. медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина. – М., 2000. – 19 с.
4. Вялова, Г.П. Паразитозы кеты и горбуши Сахалина (возбудители, эпизоотология, патогенез, меры профилактики): автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата биологических наук / Г.П. Вялова; СахНИРО. – Южно-Сахалинск, 1999. – 22 с.
5. Горохов, В.В. Анизакидоз как нарастающая экологическая и социальная проблема / В.В. Горохов, В.П. Сергиев, Н.А. Романенко // Медицинская паразитология. - 1998. – с. 50-54.
6. Методика паразитологического инспектирования морской рыбы и рыбной продукции (морская рыба-сырец, рыба охлаждённая и мороженая). – М., 1989. – 43 с.
7. Мусселиус, В.А. Лабораторный практикум по болезням рыб / В.А. Мусселиус, В.Ф. Ванятинский. - М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1983. – 296 с.
8. Сердюков, А.М. Проблема анизакидоза / А.М. Сердюков // Мед. паразитол. – 1993. - №2. – С.50-54.

9. Сердюков А.М. Эпизоотологическое состояние болезней лососёвых рыб рода *Oncorhynchus* северной части Охотского моря / А.М. Сердюков, Е.А. Витомскова, Е.А. Зайкова, Г.Р. Исламгалева // Сельское хозяйство Севера на рубеже тысячелетий/под ред. Н.Г. Михайлова [и др.]. – Магадан, 2004 – С. 242-247.

10. Профилактика паразитарных болезней на территории Российской Федерации: Санитарно-эпидемиологические правила и нормы. – М., 2003.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Butorina, T.Ye. *Opredelitel' naiboleye rasprostranennykh parazitov ryb dal'nevostochnykh morey* [Determinant of the most common fish parasites in the Far Eastern seas] / T.Ye. Butorina, Vladivostok, 1997, 115 p. [in Russian]

2. Vitomskova, E.A. *Gel'minty promyslovykh ryb severnoy chasti basseyna Okhotskogo morya, opasnyye dlya cheloveka i zhivotnykh* [Helminths of commercial fish in the northern part of the Sea of Okhotsk basin, dangerous for humans and animals] / E.A. Vitomskova.- Magadan: Magadanskiy nauchno-issledovatel'skiy institut sel'skogo khozyaystva Rossiyskaya akademiya sel'skokhozyaystvennykh nauk, 2003, 132 p. [in Russian]

3. Vitomskova, E.A. *Gel'minty promyslovykh ryb severnogo Priokhot'ya, opasnyye dlya cheloveka i zhivotny* [Helminths of commercial fish of the northern sea of Okhotsk dangerous for humans and animals]: Abstract of Ph. D. thesis ... Candidate of Veterinary Sciences :03.00.19 / E.A. Vitomskova; Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scriabin – Moscow, 2000. – 19 p. [in Russian]

4. Vyalova, G.P. *Parazitozы kety i gorbushi Sakhalina (vzbuditeli, epizootologiya, patogenez, mery profilaktiki)* [Parasitosis of chum salmon and pink salmon of Sakhalin (pathogens, epizootology, pathogenesis, preventive measures)]: Abstract of Ph. D. thesis ... Candidate of Biological Sciences / G.P. Vyalova; Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography. – Yuzhno-Sakhalinsk, 1999. – 22 p. [in Russian]

5. Gorokhov, V.V. *Anizakidoz kak narastayushchaya ekologicheskaya i sotsial'naya problema* [Anisakidosis as a growing environmental and social problem] / V.V. Gorokhov, V.P. Sergiev, N.A. Romanenko // *Meditinskaya parazitologiya* [Medical parasitology]. - 1998. – 50-54 pp. [in Russian]

6. *Metodika parazitologicheskogo inspektirovaniya morskoy ryby i rybnoy produktsii (morskaya ryba-syrets, ryba okhlazhdonnaya i morozhenaya)* [Methodology for parasitological inspection of sea fish and fish products (raw sea fish, chilled and frozen fish)]. – Moscow., 1989. – 43 p. [in Russian]

7. Musselius, V.A. *Laboratornyy praktikum po boleznyam ryb* [Laboratory Workshop on Fish Diseases] / V.A. Musselius, V.F. Vanyatinsky.-Moscow.: Logkaya i pishchevaya promyshlennost' [Light and food industry], 1983. – 296 p. [in Russian]

8. Serdyukov, A.M. *Problema anizakidoza* [Anisakidosis problem] / A.M. Serdyukov // *Med. parazitologiya* [Medical parasitology]. – 1993. no. 2. – 50-54 pp. [in Russian]

9. Serdyukov A.M. *Epizootologicheskoye sostoyaniye bolezney lososovykh ryb roda Oncorhynchus severnoy chasti Okhotskogo morya* [Epizootic state of diseases of salmonids of the genus *Oncorhynchus* in the northern part of the Sea of Okhotsk] / A.M. Serdyukov, E.A. Vitomskova, E.A. Zaikova, G.R. Islamgaleeva // *Sel'skoye khozyaystvo Severa na rubezhe tysyacheletiy* [Agriculture of the North at the turn of the millennium] – Magadan, 2004 – 242-247 pp. [in Russian]

10. *Prevention of parasitic diseases on the territory of the Russian Federation: Sanitary and epidemiological rules and norms.* [Prevention of parasitic diseases on the territory of the Russian Federation: Sanitary and epidemiological rules and norms]. – Moscow., 2003. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.014>

РАЗВИТИЕ АЗОТОБАКТЕР В АГРОЦЕНОЗАХ, НАСЫЩЕННЫХ ГЛИФОСАТСОДЕРЖАЩИМИ ГЕРБИЦИДАМИ

Научная статья

Гармашов В.М.^{1,*}, Нужная Н.А.², Гармашова Л.В.³

ORCID: 0000-0003-1214-9032;

^{1, 2, 3} Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева, Каменная Степь, Россия

* Корреспондирующий автор (garmashov.63[at]mail.ru)

Аннотация

Исследованиями установлено, что в почвенно-климатических условиях юго-востока ЦЧР применение глифосатсодержащего гербицида сплошного действия наиболее сильное негативное влияние на почвенную среду оказывает в поверхностном слое почвы 0-5 см, тогда как при увеличении мощности изучаемого слоя до 0-20 см действие глифосата кислоты на почвенную биоту сказывается значительно меньше.

Увеличение нормы применения глифосатсодержащего препарата (Торнадо 500, ВР) от рекомендуемой (3,0 л/га) в три раза (9,0 л/га) снижает численность азотобактера в слое почвы 0-5 см в 20 раз.

После семилетнего ежегодного применения гербицида Торнадо 500, ВР (500 г/л глифосата кислоты) в дозе 2,5 л/га два раза за вегетационный период (всего 35 л/га) происходит снижение численности азотобактера в поверхностном слое 0-5 см в черноземе обыкновенном на фоне с ежегодным применением удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$ под основную обработку почвы почти в три раза, на фоне без применения удобрений в семь раз по сравнению с почвой, где глифосатсодержащие препараты не применялись.

Ключевые слова: агроценоз, микробиологическая активность, азотобактер, гербицид, глифосатсодержащий препарат, чернозем обыкновенный.

DEVELOPMENT OF AZOTOBACTER IN FARM ECOSYSTEMS SATURATED WITH GLYPHOSATE-CONTAINING HERBICIDES

Research article

Garmashov V.M.^{1,*}, Nuzhnaya N.A.², Garmashova L.V.³

ORCID: 0000-0003-1214-9032;

^{1, 2, 3} V. V. Dokuchaev Voronezh Federal Agricultural Research Center, Kamennaya Steppe, Russia

* Corresponding author (garmashov.63[at]mail.ru)

Abstract

It has been found that in the soil and climatic conditions of the south-east of the Central Black Earth economic region, the use of a glyphosate-containing herbicide of continuous action has the strongest negative effect on the soil environment in the surface layer of the soil (0-5 cm), whereas with an increase in the thickness of the studied layer to 0-20 cm, the effect of glyphosate acid on the soil biota is observed to be significantly less.

An increase in the rate of use of a glyphosate-containing drug (Tornado 500, aqueous solution) from the recommended one (3.0 l/ha) by three times (9.0 l/ha) reduces the number of azotobacter in the soil layer of 0-5 cm by 20 times.

After seven years of annual use of the herbicide Tornado 500, aqueous solution (500 g/l of glyphosate acid) at a dose of 2.5 l / ha twice during the growing season (only 35 l/ha), the number of azotobacter decreases in the surface layer of 0-5 cm in ordinary chernozem against the background with the annual use of fertilizers $N_{60}P_{60}K_{60}$, under the main tillage, almost by three times, against the background without the use of fertilizers, seven times compared to the soil where glyphosate-containing preparations were not used.

Keywords: agrocenosis, microbiological activity, azotobacter, herbicide, glyphosate-containing preparation, ordinary chernozem.

Введение

Интенсивное внедрение приемов минимализации обработки почвы и прямого посева приводит к увеличению объемов применения гербицидов и, особенно, глифосатсодержащих. Вместе с тем во многих исследованиях отмечается, что насыщение сельскохозяйственного производства пестицидами приводит к загрязнению агроэкосистем [1], [2], [3].

Изначально глифосат был зарегистрирован как относительно безопасное и малотоксичное средство, не обладающее мутагенными и канцерогенными свойствами. Однако в последнее время все чаще отмечается, что неоправданно широкое применение препаратов на основе глифосата приводит к загрязнению продуктами их распада почвы, воды и воздуха. Многие исследователи отмечают, что наряду с высоковыраженным гербицидным эффектом они наносят вред многим «нецелевым» организмам (полезным насекомым и дождевым червям), снижают деятельность азотфиксирующих бактерий, подавляют рост грибной микоризы, помогающей растениям усваивать влагу и питательные вещества, делают растения более уязвимыми для болезней [4], [5], [6].

Хотя большинство авторов и отмечают достаточно высокую способность глифосата разлагаться в почве. По литературным данным в преобладающем большинстве экспериментов период его полураспада не превышал 20 суток [7], [8]. Аналогичные результаты получены и в исследованиях Мельникова Н.Н. с соавторами [9]. Вместе с тем по некоторым данным период его полураспада составляет до 174 суток [10]. Как видим научные данные о скорости деградации и токсичности глифосат содержащих гербицидов в почве довольно противоречивы.

В этой связи, учитывая остроту дискуссий по применению и последствию глифосатсодержащих гербицидов на почву, агроценозы и окружающую среду изучение и проведение биотестирования почвы в агроценозах, насыщенных глифосатсодержащими гербицидами, является весьма актуальной проблемой.

Цель исследования дать оценку многолетнего применения глифосатсодержащего препарата при нулевой обработке (прямом севе) на почву – чернозем обыкновенный в условиях юго-востока ЦЧР.

Условия материалы и методы

Оценку многолетнего воздействия глифосатсодержащего препарата на агроценоз провели в стационарном опыте по изучению различных приемов и систем обработки почвы, заложенном в 2014 году в отделе адаптивно-ландшафтного земледелия ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева» и микрополевым опыте.

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный среднегумусный, среднемощный, тяжелосуглинистый, с благоприятными физико-химическими и агрохимическими характеристиками 30-сантиметрового слоя: гумус (по Тюрину в модификации В.Н. Симакова, ГОСТ 2613-91) – 6,48%, общий азот (по Гинзбург) – 0,36%, общий фосфор (по Гинзбург и Щегловой) – 0,35%, общий калий (по Ожигову) – 1,85%, азот гидролизующий (по Тюрину и Кононовой) – 61,2 мг/кг почвы, сумма поглощенных оснований (ГОСТ 27821-88) – 66,4 мг/кг почвы, рН солевой вытяжки – 6,99, гидролитическая кислотность – 0,57 мг-экв./100 г почвы.

В стационарном опыте приемы обработки почвы изучаются в зернопропашном севообороте: горох - озимая пшеница - кукуруза на зерно – однолетние травы (горохоовсяная смесь) – озимая пшеница – подсолнечник – ячмень.

Изучение активности свободноживущих азотфиксирующих микроорганизмов (азотобактера) в почве проводили на вариантах со вспашкой на глубину 20-22 см (обычная обработка в ЦЧЗ, без использования глифосатсодержащих препаратов) и нулевой обработкой почвы, предусматривающей ежегодное применение препаратов на основе глифосата – осенью по стерне и весной до всходов культуры. В качестве глифосатсодержащего препарата использовали гербицид Торнадо-500, ВР в норме 2,5 л/га.

Для оценки воздействия повышенных норм глифосата был заложен микролевой опыт. В нем на фоне нулевой обработки почвы было изучено действие 3,0, 6,0 и 9,0 л/га препарата Торнадо-500, ВР.

Для микробиологических анализов отбирали репрезентативные смешанные почвенные образцы с каждого исследуемого объекта. Отбор почвенных образцов в стационарном опыте производили из слоя 0-20 см, два раза за вегетационный период под культурами севооборота на первом поле стационарного опыта. В микрополевым опыте отбор проб осуществляли из поверхностного слоя почвы 0-5 см на третий день после обработки гербицидом. Анализ проводили на свежих образцах, хранившихся не более 24 часов при температуре 5⁰ С. Учет численности азотобактера проводили на почвенных пластинах.

Обработку экспериментальных данных осуществляли дисперсионным методом математического анализа (Доспехов, 1985) с использованием программного обеспечения ПК Microsoft Office Excel 2016.

Метеорологические условия в годы проведения исследований были различными по температурному режиму и влагообеспеченности, но в целом были близки к среднесезонным для юго-востока ЦЧР, что позволяет достаточно объективно проанализировать действие изучаемых факторов.

Результаты исследований и их обсуждение

В рамках проводимого исследования была изучена динамика развития одного из наиболее чувствительных [11], [12], [13] и важных показателей, как для плодородия [14], [15], так и для индикации почвы на химическое загрязнение [11], [12] – интенсивность развития бактерий рода *Azotobacter*.

По мнению многих исследователей, азотобактер является весьма чувствительным микроорганизмом, реагирующим на изменение агроэкологических условий почвенной среды [11], [12], [13], [14]. Данная группа микроорганизмов хорошо развивается в почве с нейтральной реакцией среды, хорошо обеспеченной запасами органических веществ и доступными соединениями фосфора [16], [17]. Азотобактер отрицательно реагирует на ухудшение ценных агрономических качеств почв: реакции почвенной среды, обеспеченности почвы фосфором, некоторыми микроэлементами и доступным ему органическим веществом, чувствителен к недостатку влаги, поставляет в почву биологически активные вещества, подавляет продукты метаболизма фитопатогенных грибов. Поэтому многие исследователи [1], [18] рекомендуют в качестве тест-организма для определения наличия в почве токсинов применять численность колоний азотобактера.

В результате проведенных исследований при анализе почвенных образцов ежегодно отбираемых из 0-20 см слоя чернозема обыкновенного с целью изучения динамики изменения интенсивности развития бактерий рода *Azotobacter* в зависимости от применения глифосатсодержащего препарата Торнадо 500, ВР значительной депрессии микроорганизма по сравнению с фоном (без использования препарата) не выявлено, но прослеживается четкая тенденция к снижению его активности после пятилетнего применения (рис. 1).

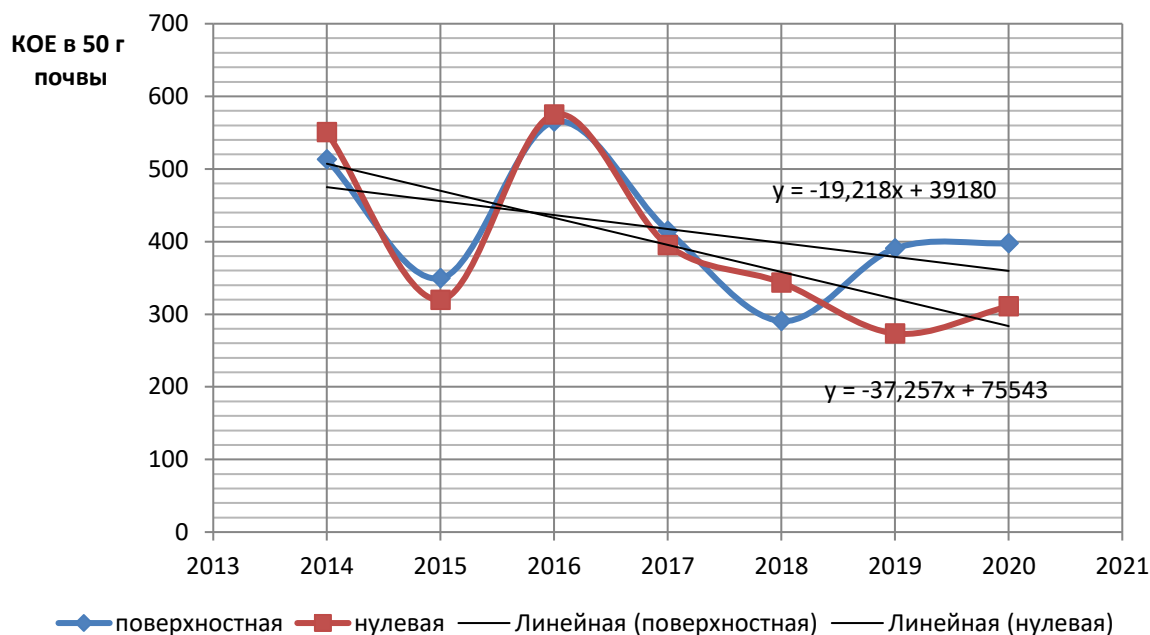


Рис. 1 – Развитие азотобактера в слое 0-20 см при различных фонах применения глифосатсодержащих гербицидов

Тогда как при анализе слоя с наибольшим воздействием гербицида на почву 0-5 см, где действие препарата проявлялось более четко, отмечается снижение численности азотобактера в четыре раза (табл. 1).

Таблица 1 – Развитие азотобактера в слое почвы 0-5 см при различных приемах обработки и фонах применения глифосатсодержащих гербицидов, 2019-2020 гг.

Вариант опыта	Азотобактер, КОЕ в 50 г почвы
Вспашка на глубину 20-22 см	305
Нулевая обработка почвы	74

В микрополевых опытах было изучено влияние доз глифосатсодержащего препарата Торнадо 500, ВР (500 г/л глифосата кислоты) на развитие азотобактера в черноземе обыкновенном в условиях нулевой обработки почвы (табл. 2).

Таблица 2 – Развитие азотобактера в слое почвы 0-5 см при применении различных доз глифосатсодержащего гербицида, 2019-2020 гг.

Вариант опыта	Азотобактер, КОЕ в 50 г почвы
Торнадо 500, ВР – 3,0 л/га (контроль)	157
Торнадо 500, ВР – 6,0 л/га	83
Торнадо 500, ВР – 9,0 л/га	8

В результате исследований была выявлена четкая зависимость численности бактерий рода азотобактер в черноземе обыкновенном от дозы применения глифосатсодержащего гербицида Торнадо, 500 ВР (500 г/л глифосата кислоты). Увеличение дозы применения глифосатсодержащего гербицида в два раза от рекомендуемой (3 л/га) в регламенте нормы – до 6,0 л/га привело к снижению численности азотобактера в черноземе обыкновенном в слое почвы 0-5 см в два раза, а увеличение дозы применения препарата в три раза – до 9,0 л/га привело к снижению численности азотобактера почти в 20 раз – до 8 КОЕ в 50 г почвы при 157 КОЕ.

Многолетние исследования, выполненные в условиях стационарного опыта, позволили выявить обусловленность численности бактерий рода азотобактер от срока применения глифосатсодержащего препарата (табл. 3). После семилетнего применения гербицида Торнадо 500, ВР (500 г/л глифосата кислоты) в дозе 2,5 л/га два раза за вегетационный период: после уборки предшественника и перед посевом культуры севооборота (5 л х 7 лет = 35 л/га), отмечено снижение численности азотобактера в черноземе обыкновенном на фоне с ежегодным применением удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$ под основную обработку почвы почти в три раза, на фоне без применения удобрений в семь раз по сравнению с почвой, где глифосатсодержащие препараты не применялись.

Таблица 3 – Численность азотобактера в слое почвы 0-5 см при различных приемах обработки почвы при применении глифосатсодержащих гербицидов, 2019-2020 гг.

Вариант опыта	КОЕ в 50 г почвы
Без использования глифосатсодержащего гербицида	
Вспашка на 20-22 см	361
Вспашка на 20-22 см (удобрено)	249
Применение Торнадо 500, КЭ в течение 7 лет	
Нулевая обработка почвы	55
Нулевая обработка почвы (удобрено)	93

Заключение

В результате проведенных исследований выявлено, что применение глифосатсодержащего гербицида сплошного действия наиболее сильное негативное влияние на почвенную среду оказывает в поверхностном слое почвы 0-5 см, тогда как при увеличении изучаемого слоя до 0-20 см действие глифосата кислоты на почвенную биоту проявляется значительно меньше.

Увеличение нормы применения глифосатсодержащего препарата (Торнадо 500, ВР) от рекомендуемой (3,0 л/га) в три раза (9,0 л/га) снижает численность азотобактера в слое почвы 0-5 см в 20 раз.

После семилетнего ежегодного применения гербицида Торнадо 500, ВР (500 г/л глифосата кислоты) в дозе 2,5 л/га два раза за вегетационный период (всего 35 л/га) происходит снижение численности азотобактера в черноземе обыкновенном на фоне с ежегодным применением удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$ под основную обработку почвы почти в три раза, на фоне без применения удобрений в семь раз по сравнению с почвой, где глифосатсодержащие препараты не применялись.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Казеев К.Ш. Влияние загрязнения современными пестицидами на биологическую активность чернозема выщелоченного / К.Ш. Казеев, Е.С. Лосева, Л.Г. Боровикова и др. // *Агрохимия*. – 2010. – № 11. – С. 39-44.
2. Imfeld G., Vuilleumier S. Measuring the effects of pesticides on bacterial communities in soil: A critical review// *European Journal of Soil Biology*, 2012, V. 49. – P. 22-30.
3. Жариков М.Г. Изучение влияния глифосатсодержащих гербицидов на агроценоз / М.Г. Жариков, Ю.Я. Спиридонов // *Агрохимия*. – 2008. – № 8. – С. 81-89.
4. Jaworski E.G. Mode of action of N-phosphonomethylglycine: inhibition of aromatic aminoacid biosynthesis / E.G. Jaworski // *Agric. Food Chem.* 1972. V. 20. P.195-198.
5. Куликова Н.А. Гербициды и экологические аспекты их применения / Н.А. Куликова, Г.Ф. Лебедева. Книжный дом "ЛИБРОКОМ". М., 2015. 152 с.
6. Спиридонов Ю.Я. Опыт многолетнего применения производных глифосата и глюфосина в агроценозе парового поля / Ю.Я. Спиридонов, Г.Е. Ларина, Л.Д. Протасова и др. // *Вестник защиты растений*. – 2006. – № 2. – С. 3-14.
7. Veiga F. Dynamics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a forest soil in Galicia, north-west Spain / F. Veiga, J.M. Zapata, M. L.F. Marcos et al. // *Sci. Total Environ.* 2001.V. 271. № (1-3) 135-144.
8. Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ. М.: Изд-во Агропрус, 2006. 15 с.
9. Мельников Н.Н. Справочник по пестицидам / Н.Н. Мельников, К.В. Новожилов, С.Р. Белан и др. М.: Химия, 1985. 352 с.
10. Wauchope R.D. The SCS/ARS/CES pesticide properties database for environmental decision-making Rev / R.D. Wauchope, T.M. Buttler, A.G. Hornsby et al. // *Environ. Contam. Toxicol.* 1992. V. 123. P. 1-155.
11. Колесников С.И. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами / С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков. Ростов – на – Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. 232 с.
12. Коробова Л.Н. Микробный отклик выщелоченного чернозема на превышение нормы гербицидной нагрузки / Л.Н. Коробова, А.В. Шинделов // *Вестник Алтайского государственного университета*. – 2012. – № 8 (94). – С. 51-54.
13. Полякова А.В. Бактерии азотного обмена как индикатор химического загрязнения / А.В. Полякова // *Экология и биология почв*. – Ростов-на-Дону, 2003. – С. 75.
14. Бабьева И.П. Биология почв: учебник; под ред Д.Г. Звягинцева / И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – 2-е изд., пераб. и доп. – Москва: Изд-во МГУ, 1989. – 336 с.
15. Виноградский С.Н. Микробиология почвы. Проблемы и методы. Пятьдесят лет исследований / С.Н. Виноградский. М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 702 с.
16. Мирчинк Т.Г. Почвенные грибы как компонент биогеоценоза / Т.Г. Мирчинк // *Почвенные организмы как компонент биогеоценоза: сб. ст.* – Москва: Наука, 1984. – С. 47-56.
17. Молчанов Ю.М. Влияние севооборота и монокультуры на некоторые свойства почвы и потенциальную активность бактерий / Ю.М. Молчанов // *Тез. докл. IV съезда Украинского науч. общ-ва*. – Киев: наукава думка. – 1985. – С.19.
18. Свистова И.Д. Влияние многолетнего внесения удобрений на почвенно-поглощательный комплекс и микробное сообщество выщелоченного чернозема / И.Д. Свистова и др. // *Агрохимия*. – 2004. – № 6. – С. 16-23.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kazeev K. Sh. Vliyanie zagryazneniya sovremennymi pesticidami na biologicheskuyu aktivnost' chernozema vyshhelochennogo [The influence of pollution with modern pesticides on the biological activity of leached chernozem] / K. Sh. Kazeev, E. S. Loseva, L. G. Borovikova et al. // *Agrohimija [Agrochemistry]*. - 2010. - No. 11. - pp. 39-44. [in Russian]
2. Imfeld G., Vuilleumier S. Measuring the effects of pesticides on bacterial communities in soil: A critical review// *European Journal of Soil Biology*, 2012, V. 49. – P. 22-30.
3. Zharikov M. G. Izuchenie vliyaniya glifosatsoderzhashchih gerbicidov na agrocnosz [Studying the effect of glyphosate-containing herbicides on agrocnosis] / M. G. Zharikov, Yu. Ya. Spiridonov // *Agrohimija [Agrochemistry]*. - 2008. - No. 8. - pp. 81-89. [in Russian]
4. Jaworski E.G. Mode of action of N-phosphonomethylglycine: inhibition of aromatic aminoacid biosynthesis / E.G. Jaworski // *Agric. Food Chem.* 1972. V. 20. P.195-198.
5. Kulikova N. A. Gerbicidy i ekologicheskie aspekty ih primeneniya [Herbicides and ecological aspects of their application] / N.A. Kulikova, G.F. Lebedeva. Book house "LIBROCOM". Moscow, 2015. 152 p. [in Russian]

6. Spiridonov Yu. Ya. Opyt mnogoletnego primeneniya proizvodnyh glifosata i glufosinata v jekocenoze parovogo polja [Experience of long-term use of glyphosate and glufosinate derivatives in the ecocenosis of the steam field] / Yu. Ya. Spiridonov, G. E. Larin, L. D. Protasov et al. // Vestnik zashhity rastenij [Bulletin of plant protection]. – 2006. – No. 2. – P. 3-14. [in Russian]
7. Veiga F. Dynamics of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in a forest soil in Glicia, north-west Spain / F. Veiga, J.M. Zapata, M. L.F. Marcos et al. // Sci. Total Environ. 2001.V. 271. № (1-3) 135-144.
8. Spravochnik pesticidov i agrohimiKatov, razreshennyh k prmeneniju na territorii RF [Handbook of pesticides and agrochemicals allowed for use on the territory of the Russian Federation]. Moscow: Publishing house Agrorus, 2006. 15 p.
9. Melnikov N. N. Spravochnik po pesticidam [Handbook of pesticides] / N.N. Mel'nikov, K.V. Novozhilov, S.R. Belan et al. Moscow: Chemistry, 1985. 352 p. [in Russian]
10. Wauchope R.D. The SCS/ARS/CES pesticide properties database for environmental decision-making Rev / R.D. Wauchope, T.M. Buttler, A.G. Hornsby et al. // Environ. Contam. Toxicol. 1992. V. 123. P. 1-155.
11. Kolesnikov S. I. Jekologicheskie posledstvija zagrjaznenija pochv tjazhelymi metallami [Ecological consequences of soil pollution by heavy metals] / S.I. Kolesnikov, K.Sh. Kazeev, V.F. Val'kov. Rostov-on-Don: Publishing house of the Higher School of Economics, 2000. 232 p. [in Russian]
12. Korobova L. N. Mikrobnij otklik vyshhelochennogo chernozema na prevyshenie normy gerbicidnoj nagruzki [Microbial response of leached chernozem to excess of the norm of herbicidal load] / L.N. Korobova, A.V. Shindelov // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Altai State University]. – 2012. – № 8 (94). – P. 51-54. [in Russian]
13. Polyakova A.V. Bakterii azotnogo obmena kak indikator himicheskogo zagrjaznenija [Nitrogen exchange bacteria as an indicator of chemical pollution] / A.V. Poljakova // Jekologija i biologija pochv [Ecology and biology of soils]. - Rostov-on-Don, 2003. - p. 75. [in Russian]
14. Babyeva I. P. Biologija pochv [Soil biology]: textbook; edited by D. G. Zvyagintsev / I. P. Babyeva, G. M. Zenova – 2nd ed., perab. and additional – Moscow: Publishing house of Moscow State University, 1989 – - 336 p. [in Russian]
15. Vinogradsky S. N. Mikrobiologija pochvy. Problemy i metody. Pjat'desjat let issledovanij [Soil microbiology. Problems and methods. Fifty years of research] / S.N. Vinogradskij. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1952. - 702 p. [in Russian]
16. Mirchink T. G. Pochvennye griby kak komponent biogeocenoza [Soil fungi as a component of biogeocenosis] / T. G. Mirchink // Pochvennye organizmy kak komponent biogeocenoza [Soil organisms as a component of biogeocenosis]: collection of articles-Moscow: Nauka, 1984. - pp. 47-56. [in Russian]
17. Molchanov Yu. M. Vlijanie sevooborota i monokul'tury na nekotorye svoystva pochvy i potencial'nuju aktivnost' bakterij [The influence of crop rotation and monoculture on some soil properties and the potential activity of bacteria] / Yu. M. Molchanov // Tez. dokl. IV Congress of the Ukrainian Scientific Community. - Kiev: naukava dumka. - 1985. - p. 19. [in Russian]
18. Svistova I. D. Vlijanie mnogoletnego vnesenija udobrenij na pochvenno-poglotitel'nyj kompleks i mikrobnoe soobshhestvo vyshhelochennogo chernozema [The influence of long-term fertilization on the soil-absorbing complex and microbial community of leached chernozem] / I. D. Svistova et al. // Agrohimiya [Agrochemistry]. - 2004. - No. 6. - pp. 16-23. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.015>**НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СКРЕЩИВАНИЯ ОВЕЦ РОМАНОВСКОЙ ПОРОДЫ И КАТАДИН**

Научная статья

Дмитриева Т.О.*

ORCID: 0000-0002-1445-3698,

ООО СХП «Катумы», Ленинградская область, Россия

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

Аннотация

Исследование было направлено на изучение результатов поглотительного скрещивания овец романовской породы и катадин. В качестве улучшателей были апробированы бараны-производители породы катадин, завезенные из Америки. В качестве улучшаемой породы была использована акклиматизированная для Северо-Западного региона России овца – романовская. Анализ связи показателей воспроизводства овцематок разной кровности по породе катадин показал положительную корреляцию степени кровности с процентом обьягненности овцематок и сохранности ягнят к отбивки (0,646; $p < 0,01$), а также положительную двухстороннюю корреляцию между количеством полученных ягнят на одну обьягнившуюся овцематку и сохранность ягнят к отбивки (0,719; $p < 0,01$). При этом самый высокий уровень сохранности ягнят к отбивки было в группе ♂КТ х ♀3/4КТ×1/4РО и составило 98,5%. В ходе исследования была выявлена двухсторонняя положительная корреляция между показателем живой массы при рождении и при отбивки у молодняка от 50% до 87,5% кровности по породе катадин (от 0,789 до 0,920; $p < 0,01$), что указывает на эффективность использования данного вида поглотительного скрещивания для повышения мясной продуктивности романовской овцы до третьего поколения.

Ключевые слова: улучшение породы, романовская порода овец, американская порода овец катадин, воспроизводство, масса при отъеме.

SOME RESULTS OF CROSSING ROMANOV AND KATAHDIN SHEEP BREEDS

Research article

Dmitrieva T.O.*

ORCID: 0000-0002-1445-3698,

Katumi LLC (ООО СКХП "Katumi"), Leningrad Oblast, Russia

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

Abstract

The study is aimed at examining the results of the accumulation cross breeding of Romanov and Katahdin sheep breeds. The study tests Katahdin rams imported from America. For grading up, the study uses the Romanov ewes, acclimatized for the North-Western region of Russia. The analysis of the relationship between the reproduction indicators of the Katahdin ewes of different bloodlines shows a positive correlation of the pedigree with the percentage of the yeanned ewe and the safety of the lambs for weaning (0.646; $p < 0.01$), as well as a positive two-way correlation between the number of lambs received per one yeanned ewe and the safety of the lambs for weaning (0.719; $p < 0.01$). At the same time, the highest level of safety of lambs for weaning was in the group ♂КТ х ♀3/4КТ×1/4РО and amounted to 98.5%. The study revealed a two-way positive correlation between the indicator of live weight at birth and during weaning from 50% to 87.5% of the pedigree of the Katahdin breed (from 0.789 to 0.920; $p < 0.01$), which points to the effectiveness of using this type of cross breeding for the purposes of improving the meat production of the Romanov sheep before 3rd generation.

Keywords: breed improvement, Romanov sheep breed, American Katahdin sheep breed, reproduction, weaning weight.

Введение

В настоящее время проблемы производства продуктов питания есть востребованная и зачастую нерешенная тема, так как отмечается неуклонное возрастание потребности населения в качественной и количественной продукции животноводства, в том числе и диетической баранине [2], [3], [8], [14]. Долгие годы овцеводство в Северо-Западном регионе активно развивалось на базе грубошерстной романовской овцы мясо-шубного направления продуктивности. В. Г. Двалишвили пишет, что романовские овцы имеют уникальную продуктивность и являются гордостью отечественного овцеводства за счет высокой плодовитости, полиэстричность и высококачественной овчины, с тонкой мездрой и высокими теплозащитными свойствами шерстного покрова [7].

Когда-то овцы были важным видом домашнего скота в Северо-Западном регионе России, но в 90-е годы произошло резкое снижение поголовья и утрата бесценного генофонда романовских овец. Однако, овцеводство стало наукой, с технологиями и управлением стада, что позволило запустить новые программы возрождения овцеводства как в Центральном, так и Северо-Западной регионе России [3], [5], [6], [9], [11].

Традиционно селекция овец была направлена на эффективное производство шерсти и овчины, мяса, молока и включала интеграцию новых пород и линий, внутривидовой отбор и поглотительное скрещивание. Современные условия создают проблемы для селекционеров овец, включая изменение климата, а также рост потребительского спроса на высококачественные мясные и молочные продукты [1], [8], [10], [13]. Однако, сочетание рациональных методов управления и селекции может повысить плодовитость овец и их численность, что необходимо для удовлетворения спроса населения на продукты овцеводства. Правильное управление воспроизводством и создание товарных стад является критическим фактором для устойчивости овцеводства во всем мире. Овцы могут производить два или более ягненка ежегодно, но обычно не достигают этого показателя ввиду нарушения технологии содержания, кормления или ветеринарно-профилактических мероприятий [4], [6], [10].

Романовская овца способна выживать в самых разных климатах и условиях и увеличивать сельскохозяйственное производство как в развитых, так и в слаборазвитых регионах России [6], [7]. Применение производителями передовых методов управления часто ограничивает эффективность овцеводства, при этом грамотное управление воспроизводством стада является первостепенным среди технологических факторов, при создании товарного стада для непрерывного цикла производства молодой баранины [3], [6], [12], [15]. Одной из целей эксперимента было определить оптимальные варианты скрещивания между породой катадин и романовской овцы для создания стабильного товарного стада при круглогодичном производстве баранины, что обусловлено требованием потребителей к более быстрым, более продуктивным и более мясным овцам, но при этом акклиматизированным для любого климата.

Методы исследования

Научно-хозяйственная работа выполнялась в овцеводческом хозяйстве ООО СХП «Катумы» Всеволожского района Ленинградской области. Научно-производственный опыт проведен в соответствии с установленными требованиями к эксперименту, постановке контроля, наблюдению одинаковых условий кормления и содержания животных в период проведения работы и учета результатов. Материалом для научных исследований послужили овцы 1, 2, 3 и 4 поколения, полученные в результате поглотительного скрещивания романовской овцы и породы катадин. В каждой группе было исследовано по 30 голов овцематок и их потомство. Для статистической обработки данных использовали пакет SPSS Statistics анализ первичной статистики. Вычисляли средние значения (М) величины каждого параметра и стандартную ошибку среднего (m). Исходя из особенностей выборки достоверность полученных результатов оценивали с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни для независимых выборок.

Результаты и обсуждения

Анализ полученных нами результатов показал, что для мясного овцеводства желательным признаком является многоплодность, но при этом оптимальным количеством ягнят является рождение двух, так как данная группа опытных овец с кровности 87,5% по породе катадин при рождении двух ягнят от одной овцематки показал оптимальное значение и по остальным производственным показателям.

По показателю сохранности ягнят от рождения до отбивки превосходство было за ягнятами 87,5% кровности по породе катадин на 3,5% по отношению к ягням 50% кровности по породе катадин, на 1,3% к ягням 75% кровности и на 4,7% по отношению к ягням 93% кровности (таблица 1).

Таблица 1 – Воспроизводительные качества овцематок разной кровности по породе катадин

Показатель	Группа			
	♂КТ х ♀РО	♂КТ х ♀1/2КТ×1/2РО	♂КТ х ♀3/4КТ×1/4РО	♂КТ х ♀7/8КТ×1/8РО
Объегнилось овцематок, %	83,3	100	100	100
Получено ягнят одинцов, %	45	7	3	31
Получено ягнят двоен, %	55	34	92	50
Получено ягнят троен и более, %	0	59	5	19
Получено ягнят на одну объегнившуюся овцематку, %	1,60	2,40	1,97	1,60
Сохранность ягнят к трехмесячному возрасту, %	95,0	97,2	98,5	93,8

Примечание: КТ – порода овец катадин; РО – романовская порода овец

Анализ связи показателей воспроизводства овцематок разной кровности по породе катадин показал положительную корреляцию степени кровности с процентом объегненности овцематок и сохранности ягнят к отбивки (0,646; $p < 0,01$), а также положительную двухстороннюю корреляцию между количеством полученных ягнят на одну объегнившуюся овцематку и сохранность ягнят к отбивки (0,719; $p < 0,01$). Установлена положительная двухсторонняя корреляция процента рождения двоен и более ягнят с уровнем сохранности к отбивки (от 0,570 до 0,817; $p < 0,01$), и отрицательная по отношению к рождению одинцов (– 0,852; $p < 0,01$).

Результаты исследований показали, что помесный 50% и 87,5% кровности по породе катадин молодняк при рождении превосходил своих сверстников 75% и 93% кровности по породе катадин по живой массе на 22,2% и 27,5% соответственно. При отбивке в возрасте трех месяцев превосходство было за ягнятами 87,5% кровности по породе катадин на 21,7% по отношению к ягням 50% кровности по породе катадин, на 28% к ягням 75% кровности и на 51% по отношению к ягням 93% кровности (таблица 2).

Таблица 2 – Живая масса молодняка разной кровности по породе катадин

Показатель	Группа			
	♂КТ х ♀РО	♂КТ х ♀1/2КТ×1/2РО	♂КТ х ♀3/4КТ×1/4РО	♂КТ х ♀7/8КТ×1/8РО
Генотип молодняка	F1	F2	F3	F4
	1/2КТх1/2РО	3/4КТ×1/4РО	7/8КТ×1/8РО	15/16КТ×1/16РО
Живая масса, кг				
При рождении	4,5±0,38	3,5±0,35	4,5±0,50	2,9 ±0,45
Три месяца	22,3±1,70	20,5±0,55	28,5±0,35	13,8±0,50
Шесть месяцев	39,6±0,68	41,5±0,25	44,4±0,65	28,5±0,35
Двенадцать месяцев	62,4±3,95	60,5±1,50	68,5±1,45	45,5±0,15

Примечание: КТ – порода овец катадин; РО – романовская порода овец

Проведенный анализ данных таблицы 2 выявил отрицательную корреляционную связь между показателем живой массы ягненка при рождении с генотипом молодняка от F1 к F4 (–0,574; $p < 0,01$). Анализ корреляции между данными показателями в возрасте отбивки ягнят также был отрицательным к четвертому поколению (–0,550; $p < 0,01$). Данная тенденция сохранилась и в возрасте шести месяцев, но была менее достоверной (–0,260; $p < 0,05$), также как и в возрасте двенадцати месяцев (–0,388; $p < 0,05$). Однако, двухсторонняя положительная корреляция между показателем живой массы при рождении и при отбивки выявлена у молодняка от 50% до 87,5% кровности по породе катадин (от 0,789 до 0,920; $p < 0,01$), что указывает на эффективность использования данного вида поглотительного скрещивания для повышения мясной продуктивности романовской овцы до третьего поколения.

Приведенные данные позволяют отметить, что помесные овцы, полученные от баранов-производителей породы катадин значительно быстрее растут от поколения к поколению до кровности 87,5% по отцовской породе и превосходят по живой массе молодняк первого поколения в возрасте 12 месяцев на 33,5%. Это является важной предпосылкой для того, чтобы характеризовать овец кровности 50-87,5% по породе катадин как скороспелых.

Заключение

Более высокая результативность в проявлении повышенной скороспелости получена у помесей третьего поколения, когда на овцематках исходной романовской породы использовались производители мясной породы катадин. Среди помесей романовской и мясной пород катадин для последующего воспроизводства отбор целесообразно осуществлять из числа овец с однородными показателями по сохранности ягнят и живой массе от рождения до двенадцати месяцев, так как уже в первом поколении сохранность ягнят к отбивки была 95%, а живая масса прогрессировала с 4,5±0,38кг при рождении, до 62,4±3,95 кг в двенадцать месяцев. Таким образом, скрещивание овец романовской породы с американским мясным катадином способствует получению потомства с повышенным генетическим потенциалом продуктивности.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

- Абонеев, В. В. Методика оценки мясной продуктивности овец / В. В. Абонеев, Ю.Д. Квитко, И. И. Селькин. – Ставрополь. – 2009. – 34 с.
- Айбазов, А. М. Биотехнологические методы и приемы интенсификации воспроизводства овец и коз / А. М. Айбазов, П. В. Аксенова, Д. В. Коваленко // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2012. – №2. – С. 35-38.
- Вахитов, Ш. Х. Стратегия развития мясного животноводства до 2020 г. / Ш. Х. Вахитов // Мясные технологии. – 2011. – №7. – С. 6-8.
- Владимиров, Н. И. Подбор родительских пар и продуктивность потомства в овцеводстве / Н. И. Владимиров, А. П. Косарев, Н. Ю. Владимирова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3 (125). – С. 85–89.
- Галиева, З. А. Особенности формирования мясной продуктивности молодняка овец разных сроков рождения / З. А. Галиева, Ю. А. Юлдашбаев, Т. С. Кутатбеков // Известия Оренбургского ГАУ. – 2016. - № 1 (57). – С. 107-109.
- Глазко, В. И. Традиционная и метаболическая селекция овец / В. И. Глазко, Ю. А. Юлдашбаев, А. В. Кушнир и др. // Монография. – Москва. – 2014. – 560 с.
- Двалишвили, В. Г. Мясная продуктивность молодняка мясо-шерстных овец разного происхождения / В. Г. Двалишвили, Ч. М. Опакай // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2018. – №4. – С. 21-22.

8. Двалишвили, В. Г. Романовская порода овец, методы повышения мясной продуктивности / В. Г. Двалишвили // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – 2017. – Т.1. – №10. – С. 88-96.
9. Ерохин, А. И. Развитие мясного овцеводства в Центральной России / А. И. Ерохин, Г. И. Рыбин, Ю. А. Юлдашбаев и др. // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2013. – №1. – С. 2-9.
10. Кибкало, Л. И. Перспективные породы и породные типы сельскохозяйственных животных / Л. И. Кибкало, Н. И. Жеребилов, Н. В. Сидорова // Курск. – 2014. – 401 с.
11. Колосов, Ю. А. Мясное овцеводство как элемент стратегии отрасли / Ю. А. Колосов // Сборник научных трудов Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства. – 2017. – №6. – С. 47-51.
12. Негреева, А. Н. Переваримость и использование питательных веществ баранчиками разного генотипа / А. Н. Негреева, А. Ч. Гаглоев, Д. А. Фролов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2014. – № 1-2. – С. 162-164.
13. Орлова, О. Н. Мясная продуктивность молодняка овец различных генотипов / О. Н. Орлова, Л. С. Дмитриева, В. И. Ерошенко. [и др.]. // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти Василия Матвеевича Горбатова. – 2015. – № 1. – С. 355-357.
14. Georges, M. Recent progress in livestock genomics and potential impact on breeding programs / M. Georges // Theriogenology. – 2001. – №55. – P.15-21.
15. Harkat, S. Assessing patterns of genetic admixture between sheep breeds: Case study in Algeria / S. Harkat // Ecol Evol. – 2017. – №7(16). – P. 6404-6412.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Aboneev, V. V. Metodika ocenki mjasnojj produktivnosti ovec [Methodology for assessing the meat productivity of sheep] / V. V. Aboneev, Yu. D. Kvitko, I. I. Selkin. - Stavropol. - 2009 – 34 p. [in Russian]
2. Aybazov, A. M. Biotekhnologicheskie metody i priemy intensivizatsii vosпроизводства ovec i koz [Biotechnological methods and techniques of intensification of reproduction of sheep and goats] / A. M. Aybazov, P. V. Aksenova, D. V. Kovalenko // Ovcy, kozy, sherstjanoe delo [Sheep, goats, wool business]. - 2012. - No. 2. - pp. 35-38 [in Russian]
3. Vakhitov, Sh. Kh. Strategija razvitiya mjasnogo zhivotnovodstva do 2020 g. [Strategy for the development of meat animal husbandry until 2020] / Sh. Kh. Vakhitov // Mjasnye tekhnologii [Meat technology]. -2011. - No. 7 – p. 6-8 [in Russian]
4. Vladimirov, N. I. Podbor roditel'skikh par i produktivnost' potomstva v ovcevodstve [Selection of parental pairs and the productivity of offspring in sheep breeding] / N. I. Vladimirov, A. P. Kosarev, N. Yu. Vladimirova // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Altai State Agrarian University]. – 2015. – № 3 (125). – pp. 85-89 [in Russian]
5. Galieva, Z. A. Osobennosti formirovaniya mjasnojj produktivnosti molodnjaka ovec raznykh srokov rozhdenija [Features of the formation of meat productivity of young sheep of different birth dates] / Z. But. Galieva, Yu. A. Yuldashbayev, T. S. Kutatbekov // Izvestiya Orenburgskogo GAU [Bulletin of Orenburg State Agrarian University]. – 2016. - № 1 (57). – pp. 107-109 [in Russian]
6. Glazko, V. I. Tradicionnaja i metabolicheskaja selekcija ovec [Traditional and metabolic breeding of sheep] / V. I. Glazko, Yu. A. Yuldashbayev, A. V. Kushnir, B. K. Salaev, A. N. Arilov // Monograph. - Moscow. - 2014 – 560 p. [in Russian]
7. Dvalishvili, V. G. Mjasnaja produktivnost' molodnjaka mjaso-sherstnykh ovec raznogo proiskhozhdenija [Meat productivity of young meat-wool sheep of different origin] / V. G. Dvalishvili, Ch. M. Opakai // Ovcy, kozy, sherstjanoe delo [Sheep, goats, wool business]. - 2018. - No. 4. - pp. 21-22 [in Russian]
8. Dvalishvili, V. G. Romanovskaja poroda ovec, metody povysheniya mjasnojj produktivnosti [The Romanov breed of sheep, methods of increasing meat productivity] / V. G. Dvalishvili // Sbornik nauchnykh trudov Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ovcevodstva i kozovodstva [Collection of scientific works of the All-Russian Scientific Research Institute of Sheep and Goat Breeding]. - 2017. - Vol. 1. - No. 10. - pp. 88-96 [in Russian]
9. Erokhin, A. I. Razvitie mjasnogo ovcevodstva v Central'noj Rossii [The development of meat sheep breeding in Central Russia] / A. I. Erokhin, G. I. Rybin, Yu. A. Yuldashbayev, M. G. Leshcheva // Ovcy, kozy, sherstjanoe delo [Sheep, goats, wool business]. - 2013. - No. 1. - pp. 2-9 [in Russian]
10. Kibkalo, L. I. Perspektivnye porody i porodnye tipy sel'skokhozhajstvennykh zhivotnykh [Promising breeds and breed types of farm animals] / L. I. Kibkalo, N. I. Zherebilov, N. V. Sidorova // Kursk. - 2014 – 401 p. [in Russian]
11. Kolosov, Yu. A. Mjasnoe ovcevodstvo kak ehlement strategii otrasli [Meat sheep breeding as an element of the industry strategy] / Yu. A. Kolosov // Sbornik nauchnykh trudov Severo-Kavkazskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva [Collection of scientific works of the North Caucasus Scientific Research Institute of Animal Husbandry]. - 2017. - No. 6. - pp. 47-51 [in Russian]
12. Negreeva, A. N. Perevarimost' i ispol'zovanie pitatel'nykh veshhestv baranchikami raznogo genotipa [Digestibility and use of nutrients by sheep of different genotypes] / A. N. Negreeva, A. Ch. Gagloev, D. A. Frolov // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Voronezh State Agrarian University]. - 2014. - No. 1-2. - pp. 162-164 [in Russian]
13. Orlova, O. N. Mjasnaja produktivnost' molodnjaka ovec razlichnykh genotipov [Meat productivity of young sheep of various genotypes] / O. N. Orlova, L. S. Dmitrieva, V. I. Eroshenko, et al. // Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj pamjati Vasilija Matveevicha Gorbatova [Materials of the International scientific and practical conference dedicated to the memory of Vasily Matveevich Gorbatov]. - 2015. - No. 1. - pp. 355-357 [in Russian]
14. Georges, M. Recent progress in livestock genomics and potential impact on breeding programs / M. Georges // Theriogenology. – 2001. – №55. – P.15-21.
15. Harkat, S. Assessing patterns of genetic admixture between sheep breeds: Case study in Algeria / S. Harkat // Ecol Evol. – 2017. – №7(16). – P. 6404-6412.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.016>**БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ – ОДНО ИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ
СНИЖЕНИЯ ПЕСТИЦИДНОЙ НАГРУЗКИ НА АГРОЦЕНОЗЫ**

Научная статья

Комарова О.П.^{1,*}, Козенко К.Ю.², Земляничина С.В.³¹ ORCID: 0000-0001-9129-6932;² ORCID: 0000-0001-5407-1486;³ ORCID: 0000-0002-4581-5268;^{1, 2, 3} Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия, Волгоград, Россия

* Корреспондирующий автор (komarova62[at]rambler.ru)

Аннотация

В статье рассматриваются проблемы биологической защиты растений в аспекте необходимости расширения применения биометода для снижения пестицидной нагрузки на агроценозы. Биологизация рассматривается как ведущее направление в развитии мировой зеленой экономики. В историческом аспекте дан анализ применения биопрепаратов и биологических агентов, рассмотрены современные направления развития российской сельскохозяйственной науки по переходу к экологически безопасному аграрному производству. Предложен дифференцированный подход при применении пестицидов, обосновано проведение химических обработок только в очагах размножения вредителей, на краевых и приманочных полосах, что позволяет сократить использование пестицидов на 50 %. Представлены результаты полевых исследований по изучению пространственного распределения энтомофауны в орошаемых агроландшафтах, показаны пути повышения видового разнообразия и численности полезных насекомых (энтомофагов и паразитов) в агроценозах за счет перераспределения полезных видов энтомокомплекса в агроценозах и естественных станциях агроландшафтов.

Ключевые слова: биологическая защита растений, биологические препараты, биологические агенты, энтомология, орошение, экосистемы, Нижнее Поволжье.

**BIOLOGICAL PROTECTION OF PLANTS AS ONE OF THE MAIN WAYS
OF REDUCING THE PESTICIDE LOAD ON A FARM ECOSYSTEM**

Research article

Komarova O.P.^{1,*}, Kozenko K.Yu.², Zemlyanitsyna S.V.³¹ ORCID: 0000-0001-9129-6932;² ORCID: 0000-0001-5407-1486;³ ORCID: 0000-0002-4581-5268;^{1, 2, 3} All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, Volgograd, Russia

* Corresponding author (komarova62[at]rambler.ru)

Abstract

The article discusses the problems of biological protection of plants in the aspect of the need to expand the use of biological agents that reduce the number of harmful arthropods to reduce the pesticide load on farm ecosystems. Biologization is considered as a leading direction in the development of the global green economy. The article features an analysis of the use of biological products and biological agents from the historical point of view, it also examines the modern ways of the development of Russian agricultural science for the transition to environmentally safe agricultural production. A differentiated approach to the use of pesticides is proposed, chemical treatments are justified only in the breeding centers of pests as well as on the border and catching bands, which allows for reducing the use of pesticides by 50%. The article presents the results of field studies on the spatial distribution of entomofauna in irrigated agricultural landscapes and demonstrates ways of increasing the species diversity and the number of useful insects (entomophages and parasites) in farm ecosystems due to the redistribution of useful species of the entomocomplex in farm ecosystems and natural stations of agricultural landscapes.

Keywords: biological plant protection, biological preparations, biological agents, entomology, irrigation, ecosystems, Lower Volga Region.

Введение

Утрата разрешающих возможностей пестицидов и загрязнение природной среды обусловили повышенное внимание к поиску альтернативных средств и приемов, сохраняющих естественных регуляторов численности вредителей. Переориентация систем защиты растений должна конкретизироваться на региональном уровне, исходя из сельскохозяйственной специализации и климатических особенностей.

Большинство специалистов во многих странах мира считают, что устойчивого снижения численности вредных организмов в агроценозах можно достичь лишь при интегрированной защите растений, предусматривающей сдерживание численности вредителей, потери продукции от которых, по различным оценкам, ежегодно достигают 20-35 % [1, С. 3]. Ее основой служит гармоничное сочетание всех известных и разрабатываемых методов (химические, организационно-хозяйственные, агротехнические, иммунологические, биологические и др.), при этом в современных условиях акцент ставится на максимальном использовании биологических ресурсов.

Одной из основных целей интегрированной защиты растений является создание на полях оптимальной для полезной фауны биоценотической обстановки, которая, в первую очередь, заключается в активизации роли хищников и паразитов. Этого можно достичь при определенном целенаправленном воздействии на агробиоценозы.

Методы и принципы исследования

Целью исследования является поиск путей повышения эффективности биологического метода в защите растений в России и за рубежом, способствующего повышению значимости органического земледелия и развитию зеленой экономики сельских территорий. Материалами исследования являются российские и зарубежные работы в области биологической защиты растений и применения биометода в сельском хозяйстве, а также статистические данные о показателях развития сельского хозяйства России. В исследовании использована методология системного анализа.

Основные результаты и обсуждение

В настоящее время в сельскохозяйственном производстве все больший акцент делается на разработке и использовании технологий экологического земледелия. Во всех странах мира все больше возрастает спрос на экологически безопасные продукты. Эта тенденция прослеживается и в России после принятия Федерального закона о производстве органической продукции (2018 г.). В научной литературе отмечается, что в органическом земледелии не допускается использование генно-модифицированных синтетических регуляторов роста, не разрешено применение пестицидов. Все вышесказанное подразумевает расширение применения биологических средств защиты растений [2, С. 344], [3, С. 649].

Российская сельскохозяйственная наука также одним из приоритетных направлений своего развития определяет переход к высокопродуктивному и экологически чистому аграрному производству, что безусловно связано с разработкой новых качественных и безопасных продуктов питания на основе применения экологически безопасных средств защиты растений. С каждым годом наблюдается все больший рост площадей занятых чисто органическим или комбинированным с биологическим земледелием.

Использование в аграрном производстве в хозяйствах различных видов собственности новых безопасных биологических препаратов, эффективность которых для защиты растений с каждым годом повышается в связи с появлением новых научных разработок, позволяет снизить загрязнение агроландшафтов химическими средствами защиты растений, решить проблемы возникновения резистентности насекомых-вредителей к инсектицидам. При расширении применения биологических препаратов появляется возможность восстановить и повысить супрессивность почв, оздоровить микробиоценозы почв в агроландшафтах. Все это закладывает основы для развития органического земледелия и получения экологически чистых продуктов.

Особенно важно в дальнейшем развитии биологических способов защиты растений – расширение научных исследований по изучению влияния биологических агентов, среди которых ведущую роль играют полезные членистоногие (хищники и паразиты), немаловажный эффект будут иметь также результаты научных исследований по изучению экологических и биологических особенностей, а также по использованию таких биологических агентов как членистоногие, нематоды, полезная микрофлора в условиях со сложной эпифитотийной, инвазионной и эпизоотийной обстановкой.

Привлечение биологических организмов как хищников и паразитов, а также использование их продуктов жизнедеятельности наряду с синтетическими аналогами – одно из ведущих направлений биологического метода защиты растений. Цель биометода – снизить плотность популяций фитофагов, возбудителей болезней сельскохозяйственных культур, сорной растительности без применения химических веществ. Впервые в 80-е годы XIX века использовать споры плесневых грибов против хлебного жука (*Anisoplia austriaca* Hbst.) предложил И.И. Мечников. Во Франции этот препарат на основе *Bacillus thuringiensis* был впервые произведен в промышленных условиях. А в настоящее время аналогичных препаратов выпускается более 20 [3, С. 651].

Примерно в это же время биометод стал распространяться и в США. С 1872 года случайно завезенный в Калифорнию австралийский желобчатый червец (*Icerya purchasi* Maskell), привел к значительному повреждению плантаций цитрусовых. В 1889 г. для защиты деревьев от червца из Австралии была завезена *Rodolia cardinalis* (Mulsant), являющаяся эффективным хищником этого вредителя у себя на родине. В результате активной хищнической деятельности *Rodolia* вредоносность червца в значительной степени снизилась. Аналогично в 50 странах мира, где *Icerya purchasi* был одним из вредоносных фитофагов, этот прием был успешно повторен [4, С. 354]. В биологической борьбе против сорной растительности в агроценозах полевых культур применяют микогербициды, в основе которых споры патогенных грибов [5, С. 2]. В настоящее время широко развивается направление разведения полезных видов в биолaborаториях (например *Trichogramma* sp. и *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant)), которых затем выпускают в природу [6, С. 3]. Также широко используются аттрактанты и репелленты, интересным и перспективным приемом для дезориентации популяций насекомых вредителей может служить выпуск в природу большого количества стерилизованных самцов [7, С. 6].

В научной литературе приводятся сведения о борьбе со злостным трудновыводимым сорняком *Orobancha* spp. с помощью грибов рода *Fusarium* и *Phytomyza orobanchiae* Kalt. [8, С. 541]. Следует отметить, что при применении биометода одной из его особенностей является строгое взаимодействие биологических агентов и их врагов, т.е. определенный вид биологического агента или биологического препарата направлен на подавление конкретного вида сорняков, насекомых или возбудителей болезни. Только в последнее время стали шире применять энтомофагов с выраженной полифагией, которые способны снижать численность популяций не одного, а нескольких видов фитофагов.

В последние годы роль биометода в аграрном производстве за рубежом постоянно растет. На 8 % посевных площадей сельскохозяйственных культур в США ведется защита растений с использованием биологических агентов, а в Китае на хлопковых плантациях использование пестицидов снизилось на 90 % за счет биологического метода [9, С. 44443]. Также растут площади использования биометода и в России, в частности, защита лесных насаждений в стране ведется в основном с использованием биологического метода. Так, стали широко применять штаммы бактерий группы *Bacillus thuringiensis* в борьбе с опаснейшим вредителем лесов – сибирским шелкопрядом (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) [10, С. 97].

К успехам биологического метода в защите растений можно отнести и контроль над инвазионными видами фитофагов. Известно, что в Австралии для ограничения размножения *Opuntia species* была использована бабочка *Cactoblastis cactorum* (Berg) [8, С. 540], а для подавления *Salvinia molesta* L. – долгоносик *Cyrtobagous salviniae* Calder and Sands [11, С. 83].

Расширение применения биологических способов в защите растений позволяет снизить химическую нагрузку на агроландшафты, повысить качество сельскохозяйственной продукции и устойчивость сельхозтоваропроизводителя в конкурентной рыночной борьбе.

Еще одним направлением снижения пестицидной нагрузки в агроландшафтах является дифференцированный подход при назначении химических обработок и проведение их только в очагах размножения вредителей, краевых и приманочных полосах, что по мнению ряда авторов, позволяет почти вдвое сократить использование пестицидов. Расходы пестицидов при внедрении комплексных систем защиты сельскохозяйственных культур снижаются на 50-70 %. Помимо сокращения затрат все это имеет большое значение для охраны окружающей среды.

Многолетние исследования, выполненные во Всероссийском НИИ орошаемого земледелия, выявили возможности повышения эффективности биологического метода в орошаемых условиях за счет расширения биологического разнообразия и численности полезных видов в энтомокомплексах полевых культур (см. рисунок 1). Данные учетов почвенными ловушками наиболее многочисленной группы хищников напочвенного яруса – жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) показывают, что на различных культурах сравнительная численность этой группы энтомокомплекса в условиях орошения в 2,5-12,4 раз выше, чем на неорошаемых посевах.

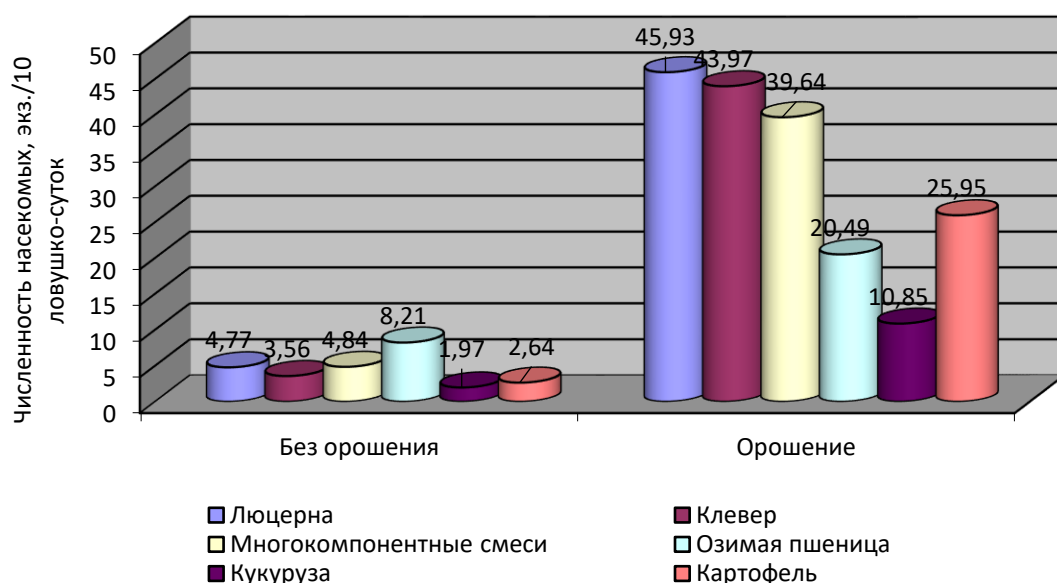


Рис. 1 – Влияние орошения на численность жуужелиц на посевах основных сельскохозяйственных культур (ФГУП «Орошаемое», 2000-2020 гг.)

Также управление численностью хищников и паразитов возможно через пространственное перераспределение полезных насекомых между агроценозами и естественными биотопами сельскохозяйственных ландшафтов. Установлено, что участки естественного и антропогенного происхождения (окраины полей и опушки леса) могут способствовать увеличению биоразнообразия полезных насекомых). Наши исследования согласуются с данными О.Г. Гусевой и А.Г. Коваль [12, С. 117].

Нами также получены результаты по влиянию фенологии растений и микроклимата, складывающегося внутри травостоев на формирование состава и структуры энтомокомплексов в агроценозах полевых культур. В условиях орошения формируется значительно более богатый энтомокомплекс. Также на энтомофауну оказывает значительное влияние степень антропогенного воздействия при выращивании сельскохозяйственных культур. Установлено, что в севооборотах с наличием в структуре до 60 % многолетних трав создаются более комфортные условия жизнедеятельности полезных видов насекомых. Оптимальный микроклимат, создающийся в травостоях, минимум обработок почвы, длительное бессменное произрастание на одном месте на протяжении нескольких лет, позволяют насекомым на посевах многолетних трав (в основном люцерны и бобово-мятликовых травосмесей) находить благоприятные условия обитания. В наших исследованиях получены данные по формированию в севооборотах с участием 40-60 % многолетних трав полидоминантных энтомокомплексов, видовое разнообразие которых значительно выше, чем в пропашных севооборотах. Такие полидоминантные комплексы обладают повышенной устойчивостью, что имеет немаловажное значение в поддержании экологического равновесия в агроландшафтах.

Результаты исследований показывают, что в среднем за вегетационный период численность полезных видов насекомых в севооборотах с наличием многолетних трав в 2,4-2,7 раза превышает обилие энтомофагов и паразитов в севооборотах с пропашными культурами. Соотношение численности энтомофагов и вредителей составляет здесь 1:4,7 – 1:6,7. Известно, что при таком соотношении возможна саморегуляция энтомокомплекса, создание устойчивых энтомологических сообществ.

Заключение

В последние годы в России и в мире все шире применяются биологические препараты, аттрактанты и репелленты, увеличивается выпуск хищников и паразитов. Использование биопрепаратов и биоагентов представляет собой одно из перспективных направлений для внедрения органического земледелия и развития зеленой экономики на сельских территориях.

Дифференцированный подход при назначении химических обработок и проведение их только в очагах размножения вредителей, краевых и приманочных полосах позволяют почти вдвое сократить использование пестицидов. Расходы пестицидов при внедрении комплексных систем защиты сельскохозяйственных культур снижаются на 50-70 %. Помимо значительного сокращения затрат все это имеет большое значение для охраны окружающей среды.

Источником повышения биологического разнообразия, численного обилия и равномерного распределения полезных насекомых в орошаемых севооборотах являются посевы многолетних трав, которые должны располагаться вблизи участков с наиболее интенсивной антропогенной нагрузкой. При этом отмечена горизонтальная миграция энтомофагов и паразитов на соседние пропашные культуры, что позволяет обеспечить увеличение биоразнообразия и численности полезных видов, результатом чего станет повышение стабильности фитосанитарного состояния агроландшафта и снижение пестицидной нагрузки.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 19-410-340017 р_а «Зеленые технологии – драйвер стратегического развития малых городов и сельских поселений Юга России: теоретическое и методологическое обоснование».

Конфликт интересов

Не указан.

Funding

The reported study was funded by RFBR and Administration of the Volgograd region according to the research project № 19-410-340017 «Green technologies – the driver of strategic development of small cities and rural settlements of the South of Russia: theoretical and methodological justification».

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

- Захаренко В.А. Биотехнологии и защита растений / В.А. Захаренко // Защита и карантин растений. – 2015. – № 11. – С. 3-6.
- Hatt S. Beyond "greening": which paradigms shape sustainable pest management strategies in the European Union? / S. Hatt, N. Osawa // Biocontrol. – 2019. – Vol. 64. – Issue 4. – Pp. 343-355. DOI: 10.1007/s10526-019-09947-z.
- Baranek J. Interaction between toxin crystals and vegetative insecticidal proteins of *Bacillus thuringiensis* in lepidopteran larvae / J. Baranek, E. Konecka, A. Kaznowski // Biocontrol. – 2017. – Vol. 62. – Issue 5. – Pp. 649-658. DOI: 10.1007/s10526-017-9828-6.
- Almeida L.F.V. A survey of scale insects (Hemiptera: Coccoidea) in citrus orchards in São Paulo, Brazil / L.F.V. Almeida, A.L.B.G. Peronti, N.M. Martinelli V.R.S. Wolff // Florida Entomologist. – 2018. – Vol. 101. – Issue 3. – Pp. 353-363. DOI 10.1653/024.101.0324
- Falahzadah M.H. Biological control chance and limitation within integrated pest management program in Afghanistan / M.H. Falahzadah // Egyptian Journal of Biological Pest Control. – 2020. – Vol. 30. – Issue 1. – Article number: 86. DOI 10.1186/s41938-020-00264-7
- Mohammed Y.M.M. Potential of phytopathogenic fungal isolates as a biocontrol agent against some weeds / Y.M.M. Mohammed, M.E.I. Badawy // Egyptian Journal of Biological Pest Control. – 2020. – Vol. 30. – Issue 1. – Article number: 92. DOI: 10.1186/s41938-020-00295-0.
- Verschut T.A. Scaling the interactive effects of attractive and repellent odours for insect search behavior / T.A. Verschut // Scientific Reports. – 2019. – Vol. 9. – Article number: 15309. DOI: 10.1038/s41598-019-51834-1.
- Piwowarczyk R. First report of *Phytomyza orobanchia* (Diptera: Agromyzidae) from Poland and *Chymomyza amoena* (Diptera: Drosophilidae) on *Phelipian cheramosa* (Orobanchaceae) / R. Piwowarczyk, L. Mielczarek, S. Guzikowski // Florida Entomologist. – 2018. – Vol. 101. – Issue 3. – Pp. 540-542. DOI: 10.1653/024.101.0333.
- Zhang H. The effects of biochar and AM fungi (*Funnelformis mosseae*) on bioavailability Cd in a highly contaminated acid soil with different soil phosphorus supplies // H. Zhang, H. Zhen, C. Huang, K. Wang, Y. Oiao // Environmental Science and Pollution Research. – 2020. – Vol. 27. – Issue 35. – Pp. 44440-44451. DOI 10.1007/s11356-020-10363-5
- Акулин Е.В. Сибирский шелкопряд в Красноярском крае / Е.В. Акулин // Теория и практика современной науки. – 2020. – № 5 (59). – С. 96-98.
- Kurugundla C.N. Temporal effects of biocontrol processes on nutrient dynamics in a shallow lake: Case study of Lake Xini, Okavango Delta in Botswana / C.N. Kurugundla, J.C. Buru // African Journal of Aquatic Science. – 2020. – Vol. 46. – Issue 1. – Pp. 79-87. DOI: 10.2989/16085914.2020.1763906.
- Гусева О.Г. Биоразнообразие жесткокрылых насекомых (Insecta, Coleoptera) в условиях антропогенной трансформации агроландшафтов / О.Г. Гусева, А.Г. Коваль // Сб. тезисов докладов IV Всероссийского съезда по защите растений с международным участием «Фитосанитарные технологии в обеспечении независимости и конкурентоспособности АПК России». Санкт-Петербург, 09-11 сентября 2019 года. – С. 117.

Список литературы на английском языке / References in English

- Zacharenko V.A. Biotechnologii i zashhita rastenij [Biotechnology and plant protection] / V.A. Zacharenko // Zashhita i karantin rastenij [Plant protection and quarantine]. – 2015. – № 11. – Pp. 3-6 [in Russian].

2. Hatt S. Beyond "greening": which paradigms shape sustainable pest management strategies in the European Union? / S. Hatt, N. Osawa // *Biocontrol*. – 2019. – Vol. 64. – Issue 4. – C. 343-355. DOI: 10.1007/s10526-019-09947-z
3. Baranek J. Interaction between toxin crystals and vegetative insecticidal proteins of *Bacillus thuringiensis* in lepidopteran larvae / J. Baranek, E. Konecka, A. Kaznowski // *Biocontrol*. – 2017. – Vol. 62. – Issue 5. – Pp. 649-658. DOI: 10.1007/s10526-017-9828-6
4. Almeida L.F.V. A survey of scale insects (Hemiptera: Coccoidea) in citrus orchards in São Paulo, Brazil / L.F.V. Almeida, A.L.B.G. Peronti, N.M. Martinelli V.R.S. Wolff // *Florida Entomologist*. – 2018. – Vol. 101. – Issue 3. – Pp. 353-363. DOI 10.1653/024.101.0324
5. Falahzadah M.H. Biological control chance and limitation within integrated pest management program in Afghanistan / M.H. Falahzadah // *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. – 2020. – Vol. 30. – Issue 1. – Article number: 86. DOI 10.1186/s41938-020-00264-7
6. Mohammed Y.M.M. Potential of phytopathogenic fungal isolates as a biocontrol agent against some weeds / Y.M.M. Mohammed, M.E.I. Badawy // *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. – 2020. – Vol. 30. – Issue 1. – Article number: 92. DOI: 10.1186/s41938-020-00295-0
7. Verschut T.A. Scaling the interactive effects of attractive and repellent odours for insect search behavior / T.A. Verschut // *Scientific Reports*. – 2019. – Vol. 9. – Article number: 15309. DOI: 10.1038/s41598-019-51834-1
8. Piwowarczyk R. First report of *Phytomyza orobanchia* (Diptera: Agromyzidae) from Poland and *Chymomyza amoena* (Diptera: Drosophilidae) on *Phelipian cheramosa* (Orobanchaceae) / R. Piwowarczyk, L. Mielczarek, S. Guzikowski // *Florida Entomologist*. – 2018. – Vol. 101. – Issue 3. – Pp. 540-542. DOI: 10.1653/024.101.0333
9. Zhang H. The effects of biochar and AM fungi (*Funneliformis mosseae*) on bioavailability Cd in a highly contaminated acid soil with different soil phosphorus supplies // H. Zhang, H. Zhen, C. Huang, K. Wang, Y. Oiao // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2020. – Vol. 27. – Issue 35. – Pp. 44440-44451. DOI 10.1007/s11356-020-10363-5
10. Akulin E.V. Sibirskij shelkoprijad v Krasnojarskom krae [Siberian silkworm in the Krasnoyarsk Region] / E.V. Akulin // *Teoriya i praktika sovremennoj nauki* [Theory and practice of modern science]. – 2020. – № 5 (59). – Pp. 96-98 [in Russian].
11. Kurugundla C. N. Temporal effects of biocontrol processes on nutrient dynamics in a shallow lake: Case study of Lake Xini, Okavango Delta in Botswana / C.N. Kurugundla, J.C. Buru // *African Journal of Aquatic Science*. – 2020. – Vol. 46. – Issue 1. – Pp. 79-87. DOI: 10.2989/16085914.2020.1763906
12. Guseva O.G. Bioraznoobrazie zhestkokrylyh nasekomyh (Insecta, Coleoptera) v usloviyah antropogennoj transformacii agrolandschaftov [Biodiversity of hard-winged insects (Insecta, Coleoptera) in conditions of anthropogenic transformation of agrolandscapes] / O.G. Guseva, A.G. Koval' // *Sb. tezisov dokladov IV Vserossijskogo s'ezda po zashhite rastenij s mezhdunarodnym uchastiem «Fitosanitarnye tehnologii v obespechenii nezavisimosti i konkurentosposobnosti APK Rossii»*. Sankt-Peterburg, 09–11 sentjabrja 2019 goda [Collection of abstracts of the IV All-Russian Congress on Plant Protection with international participation "Phytosanitary technologies in ensuring the independence and competitiveness of the agro-industrial complex of Russia". Saint Petersburg, September 09-11, 2019]. – P. 117 [in Russian].

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.017>**МОНИТОРИНГ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЁМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Научная статья

Полуэктов Е.В.¹, Петрова И.А.^{2,*}² ORCID: 0000-0003-0199-4492;^{1, 2} Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова Донской государственный аграрный университет, Новочеркасск, Россия

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

Аннотация

Важное место в мониторинговых исследованиях отводится почвенному покрову, как основному средству производства в растениеводстве. Исследования по мониторингу свойств черноземов обыкновенных Ростовской области, ареал распространения которых Приазовская наклонная равнина, проводились на стационарных участках в период с 1973 по 2018 гг. Это позволило объективно оценить динамику свойств почв различной степени эродированности в зависимости от интенсивности проявления эрозии и дефляции, а также хозяйственной деятельности человека. С этой целью от плато водораздела до подножия склона был заложен экологический профиль из почвенных разрезов. Проанализировав гумусовый профиль, химические, физико-химические, физические свойства почв водораздела и склонов пришли к выводу, что их изменения обуславливаются интенсификацией хозяйственной деятельности человека, недостаточным количеством вносимых удобрений, что является первопричиной дегумификации. Это повлекло за собой ряд других негативных изменений: снижении запасов элементов питания, суммы поглощённых оснований и др. На склоновых землях процесс дегумификации усугубляется проявлением эрозии и связанных с этим потерей верхнего наиболее плодородного слоя почвы, а соответственно, противоэрозионной устойчивости.

Ключевые слова: почва, чернозем обыкновенный, гумусовый профиль, химические, физико-химические, физические свойства почв, дегумификация, эрозия.

MONITORING OF THE MAIN PROPERTIES OF ORDINARY CHERNOZEM OF ROSTOV OBLAST

Research article

Poluektov E.V.¹, Petrova I.A.^{2,*}² ORCID: 0000-0003-0199-4492;^{1, 2} A.K. Kortunov Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute of the Don State Agricultural University, Novocherkassk, Russia

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

Abstract

As the main means of crop production, the soil cover is an important element in monitoring studies. In the period from 1973 to 2018, studies on monitoring the properties of ordinary chernozem soils of Rostov Oblast, the distribution area of which is the Azov inclined plain, were carried out on stationary sites. This made it possible to objectively assess the dynamics of soil properties of various degrees of erosion depending on the intensity of erosion and deflation as well as human economic activity. For this purpose, an ecological profile of soil sections was laid from the watershed plateau to the foot of the slope. After analyzing the humus profile, chemical, physicochemical, physical properties of the watershed soils and slopes, the authors have come to the conclusion that their changes are caused by the intensification of human economic activity and an insufficient amount of fertilizer applied, which is the root cause of dehumification. This led to a number of other negative changes: a decrease in the supply of nutrients, the number of absorbed bases, etc. On sloping lands, the process of dehumification is aggravated by the manifestation of erosion and the associated loss of the uppermost fertile soil layer and anti-erosion stability.

Keywords: soil, ordinary chernozem, humus profile, chemical, physicochemical, physical properties of soils, dehumification, erosion.

Введение

Важное место в мониторинговых исследованиях отводится почвенному покрову, как основному средству производства в растениеводстве. Наши исследования проводились на чернозёмах обыкновенных Ростовской области. Ареал их распространения Приазовская наклонная равнина, которая характеризуется как зона сильной, местами умеренной эрозии и дефляции. Средний уклон местности 2,8°. Глубина местного базиса эрозии 80-100 м.

Условия и методы исследования

Исследования по мониторингу свойств обыкновенных черноземов проводились на стационарных участках в ОПХ «Рассвет» ДЗНИИСК (ныне ФРАНЦ) в период с 1973 по 2018 гг. Это позволило объективно оценить динамику свойств почв различной степени эродированности в зависимости от интенсивности проявления эрозии и дефляции, а также хозяйственной деятельности человека. С этой целью от плато водораздела до подножия склона был заложен экологический профиль из почвенных разрезов. На плато водораздела почва представлена черноземом обыкновенным мощным карбонатным. Вниз по склону восточной экспозиции по мере удаления от водораздела и нарастания крутизны, последовательно сменяют друг друга слабоэродированные, среднеэродированные и сильноэродированные разновидности. Почвообразующие породы представлены лессовидными суглинками.

Результаты и их обсуждение

Согласно полученным результатам в процессе полевого обследования слабоэродированного обыкновенного чернозёма смыто до половины горизонта А (19 см). Гумусовый профиль складывается из следующих горизонтов: $A_{\text{пах}} + B_1 + B_2 + BC$. Среднеэродированная разновидность изучаемого подтипа утратила больше половины горизонта А – 30 см, гумусовый профиль состоит из горизонтов: $AB_{\text{пах}} + B_2 + BC$. У сильноэродированной разновидности гумусовый профиль состоит из 2-х горизонтов: $AB_{\text{пах}} + BC$, по сравнению с эталоном у него утрачено 58 см гумусового слоя.

Гумусовый профиль эталона характеризовался равномерным падением гумуса с глубиной (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Основные химические и физико-химические свойства эродированных обыкновенных чернозёмов (1973-1975 гг.)

Горизонт, глубина		Гумус, %	Общий азот, %	C:N	Поглощённые Ca ²⁺ +Mg ²⁺ , мг-экв/100 г почвы			CaCO ₃ , %	pH
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺		
Чернозём обыкновенный мощный									
A _{пах}	0-27	4,83	0,24	11,6	34,95	7,48	42,43	1,02	7,4
A _{п/пах}	27-42	4,03	0,21	11,2	34,44	7,88	42,32	2,31	7,5
B ₁	42-63	3,21	0,18	10,6	30,41	5,91	36,37	3,09	7,8
B ₂	63-86	2,10	0,14	9,0	26,82	7,87	34,69	6,52	8,0
BC	86-114	1,21	0,09	8,1	22,96	8,33	31,29	8,36	8,2
C	114-180	0,56	0,04	8,1	—	—	—	12,91	8,4
Чернозём обыкновенный среднемощный слабоэродированный									
A _{пах}	0-29	4,16	0,22	11,3	33,21	5,37	38,58	1,24	7,5
B ₁	29-47	3,06	0,16	11,2	30,34	5,61	35,95	2,17	7,9
B ₂	47-67	2,11	0,13	9,6	24,81	7,63	32,44	6,80	8,1
BC	67-86	1,27	0,09	8,2	22,73	8,81	29,54	11,21	8,3
C ₁	86-110	0,41	0,03	8,2	—	—	—	12,10	8,5
C ₂	110-150	0,32	0,02	8,4	—	—	—	11,83	8,4
Чернозём обыкновенный среднемощный среднеэродированный									
AB _{пах}	0-28	3,24	0,21	9,1	31,15	5,60	36,75	2,96	7,6
B ₁	28-34	2,76	0,17	9,8	27,41	6,37	33,78	3,70	8,1
B ₂	34-53	2,12	0,13	9,7	23,24	7,25	30,49	5,91	8,3
BC	53-82	1,31	0,09	8,7	21,31	7,63	28,94	10,75	8,4
C	82-130	0,44	0,04	6,2	—	—	—	11,90	8,6
Чернозём обыкновенный сильноэродированный									
AB _{пах}	0-28	2,14	0,12	10,6	23,27	6,85	30,12	3,57	8,1
BC	28-45	1,19	0,08	8,6	20,86	8,81	29,47	8,60	8,4
C ₁	45-60	0,31	0,03	6,3	—	—	—	13,39	8,5
C ₂	60-100	0,29	0,03	6,2	—	—	—	12,66	8,5

В довольно строгом параллелизме с количеством гумуса уменьшается содержание общего азота. Азот составляет 5 % от общего содержания гумуса в пахотном горизонте и увеличивается с глубиной до 7 %. Сумма поглощённых оснований в пахотном горизонте превышает 40 мг-экв на 100 г почвы. Обменный кальций преобладает над обменным магнием. На долю первого приходится свыше 80 % от суммы $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ в верхнем полуметровом слое.

Вниз по профилю происходит не только уменьшение суммы поглощённых оснований, но и сужается отношение между кальцием и магнием. Доля участия последнего увеличивается до 25 % от суммы $Ca^{2+} + Mg^{2+}$.

Общее содержание карбонатов кальция и магния составляет в пахотном слое 1,23 %, с глубиной их количество резко возрастает, достигая максимума в горизонте массового скопления белоглазки на глубине 130-150 см. Среди карбонатов преобладает $CaCO_3$, количество которого резко увеличивается с глубиной. Содержание $MgCO_3$ колеблется от 0,21 до 1,85 %. Его количество также увеличивается с глубиной.

Увеличение количества $MgCO_3$ вниз по почвенному профилю связано с двумя причинами: во-первых, значительно лучшей его растворимостью в водных растворах по сравнению с карбонатами кальция и, во-вторых, ещё большей разницей в характере растворимости карбонатов в солевых растворах: в частности, согласно исследованию, если растворимость $MgCO_3$ в воде выше растворимости $CaCO_3$ в 20-25 раз, то в растворах – в 30-35 раз [1]. В связи с тем, что в нижних горизонтах исследуемых чернозёмов увеличивается количество легкорастворимых солей (сухой остаток составляет 0,3-0,35%), а карбонаты магния являются более подвижными (в сравнении с $CaCO_3$) и относительно легко мигрируют по почвенному профилю, накапливаясь, главным образом, в переходных горизонтах B_2 и BC. Более высокое содержание карбонатов магния в нижних горизонтах способствует некоторому повышению реакции почвенной среды.

С нарастанием степени эродированности происходит уменьшение содержания гумуса, общего азота, поглощённых оснований. Гумус эродированных почв обогащен азотом, об этом говорит более узкое соотношение C:N. Общий азот в пахотном слое среднеэродированной разновидности составляет почти 6 % от содержания гумуса.

По мере нарастания смывости и потери верхней части почвенного профиля происходит уменьшение суммы поглощённых оснований. Вместе с тем, в средне- и сильноэродированных почвах всё большую роль начинает играть поглощённый Mg^{2+} , при этом сужается отношение Ca:Mg. Соотношение воднорастворимых кальция и магния в средне- и сильноэродированных почвах также увеличивается в пользу последнего.

В целом же сумма поглощённых оснований является величиной стабильной и может служить хорошим диагностическим признаком при разграничении почв различной степени эродированности.

Количество карбонатов резко возрастает в верхних горизонтах средне- и сильноэродированных разновидностей, что является характерной особенностью эродированных почв чернозёмного типа. Карбонатный максимум у эродированных почв приближается к поверхности. Если у неэродированных чернозёмов он находится на глубине 120-130 см, то у средне- и сильноэродированных соответственно на глубине 55-65 см и 40-50 см.

Среди карбонатов преобладают $CaCO_3$, количество которого заметно выше в пахотном горизонте эродированных почв, по сравнению с почвами неэродированными. Максимум карбонатов кальция приходится на нижние горизонты. Содержание $MgCO_3$ в эродированных почвах не превышает 1,80 %. Наибольшее его содержание, также, как и в почвах неэродированных, приходится на горизонты B₂ и BC, с той лишь разницей, что в эродированных почвах он ближе к дневной поверхности.

В эродированных почвах возрастает реакция среды по сравнению с эталоном. Щелочная реакция пахотного горизонта присуща сильноэродированным разновидностям.

По прошествии 40-45 лет на том же экологическом профиле было проведено повторное почвенное обследование с анализом основных свойств почвы (см таблицу 2).

Как видим из представленных данных, в современном состоянии чернозёмов произошли определённые перемены. Прежде всего, это касается содержания гумуса. Его количество в пахотном горизонте неэродированных почв уменьшилось с 4,83 до 4,21 %, т.е. 0,62 % в абсолютном выражении. В соответствии с этим количество общего азота снизилось на 9 %.

Таблица 2 – Основные химические и физико-химические свойства эродированных обыкновенных чернозёмов (2016-2019 гг.)

Горизонт, глубина, см		Гумус, %	Общий азот, %	Поглощённые Ca ²⁺ +Mg ²⁺ , мг-экв/100 г почвы			CaCO ₃ , %	pH
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺		
Чернозём обыкновенный мощный								
A _{пах}	0-29	4,21	0,22	32,91	6,66	39,57	0,77	7,8
A _{п/пах}	29-37	4,03	0,20	33,11	5,66	38,77	0,87	7,7
B ₁	37-59	3,52	0,17	33,37	4,21	37,58	2,50	7,9
B ₂	59-81	1,87	0,09	27,11	5,52	32,63	8,71	8,2
BC	81-102	1,53	0,07	—	—	—	12,07	8,3
C	140-150	0,40	—	—	—	—	14,53	8,4
Чернозём обыкновенный среднемощный слабоэродированный								
A _{пах}	0-27	3,12	0,16	22,20	6,11	28,31	1,37	7,7
B ₁	27-42	2,41	0,12	19,15	5,31	24,46	2,95	7,9
B ₂	42-63	2,07	0,10	17,72	5,13	22,85	7,92	8,1
BC	63-89	1,47	0,07	15,64	4,70	20,34	10,37	8,2
C	100-120	0,32	0,01	—	—	—	13,14	8,3
Чернозём обыкновенный среднемощный среднеэродированный								
AB _{пах}	0-27	2,70	0,12	17,60	5,91	24,51	4,23	7,9
B ₂	27-43	2,31	0,11	15,53	4,82	20,35	6,85	8,1
BC	43-68	1,22	0,06	4,72	4,70	18,42	9,49	8,2
C	90-100	0,29	0,01	—	—	—	12,83	8,3
Чернозём обыкновенный сильноэродированный								
AB _{пах}	0-27	2,09	0,10	14,74	6,33	21,07	5,73	8,1
BC	27-43	1,37	0,07	11,72	5,45	18,17	9,81	8,3
C	90-100	0,30	0,01	—	—	—	12,13	8,4

Аналогичные данные по содержанию гумуса на чернозёмах обыкновенных приводят в своих публикациях сотрудники научно-исследовательских, учебных и проектных учреждений Ростовской области [2], [3], [4].

Согласно данным Южгипрозема на территории Приазовской зоны содержание гумуса в 1960 году в среднем составляло 4,74 %, в 1987 г. – 4,24 % и в 2006 г. – 3,77 %. Таким образом, за 46 лет интенсивного использования почв в пашне содержание гумуса снизилось на 0,97 % в абсолютном выражении или на 21,5 % в целом (см. таблицу 3).

Таблица 3 – Динамика содержания гумуса в пахотном слое пашни зоны обыкновенных чернозёмов по административным районам Приазовской зоны Ростовской области (данные Южгипрозема)

Наименование районов	Годы		
	1960	1987	2006
Аксайский	4,8	4,3	3,7
Октябрьский	5,0	4,4	3,6
Мясниковский	4,7	4,0	3,7
Неклиновский	4,0	3,8	3,7
Матвеево-Курганский	4,8	4,0	3,8
Куйбышевский	4,8	4,4	3,9
Родионо-Несветаевский	5,1	4,8	4,0
Среднее	4,74	4,24	3,77

Аналогичные данные получены Ростовским агрохимцентром. За период 2006-2012 гг. содержание гумуса в пахотном слое обыкновенных чернозёмов Приазовской зоны составляет 3,8 %. Это на 20 % меньше, чем 40 лет назад [3].

По данным опубликованных Л.Ю. Гончаровой и др., в чернозёмах обыкновенных мощных карбонатных (местное название «предкавказские») очень близких по генезису к «североприазовским», расположенных на левобережье р. Дон, за период с 1964 по 2006 гг. содержание гумуса снизилось с 4,90 до 3,82 % [5]. Это соответствует ежегодной потере гумуса в количестве 0,8 т/га. По их мнению, это связано с преобладанием минерализации органического вещества над новообразованием, а также низким уровнем внесения удобрений в 90-е годы прошлого века.

Такая же динамика изменения содержания гумуса имеет место в обыкновенных чернозёмах Азово-Кубанской низменности за период с 1985 по 2015 гг. Наиболее резкое снижение отмечено в 1990-2000 гг., когда содержание гумуса уменьшилось с 3,9 % до 3,7 % в районах, граничащих с Ростовской областью [6].

Уменьшение содержания гумуса в почве, прежде всего, связано с процессами дегумификации. В первую очередь это касается наиболее интенсивно используемых в сельском хозяйстве сельскохозяйственных угодий, таких как пашня. Это можно объяснить гораздо меньшим (в два и более раза) количеством поступающих в почву растительных органических остатков, изменением его химического состава. В связи с чем, по мнению В.В. Пономарёвой и Т.А. Плотниковой, произошло нарушение баланса между разрушением части гумуса и его новообразованием [7].

Не стоит при этом забывать, что с урожаем сельскохозяйственных культур, практически навсегда, отчуждается огромное количество питательных веществ. В почве вследствие интенсивной обработки усиливается микробиологическая активность, а это, в свою очередь, приводит к повышенной минерализации органического вещества. Согласно исследованиям И.М. Шапошниковой, ежегодно на полях занятых чистым паром на чернозёмах обыкновенных теряется до 2 т/га гумуса [8].

На склоновых землях процесс минерализации гумуса усиливается за счёт смыва верхней, наиболее гумусированной части профиля временными водными потоками во время выпадения ливневых дождей, стока талых вод, а также выдувания почвы во время пыльных бурь и поземок.

Согласно нашим данным, содержание гумуса у слабоэродированного чернозёма за 40 лет в пахотном слое уменьшилось на 25 %, среднеэродированного на 17 % и сильноэродированного на 2,4 %, т.е. с увеличением степени эродированности процент потерь органического вещества почвы снижается. Возможно, это связано с применением системы почвозащитных мероприятий, повышенными дозами органических и минеральных удобрений на опытных участках.

Произошли и другие заметные изменения свойств почвы. Особенно это касается суммы поглощённых оснований, количество которых у незэродированных почв уменьшилась с 42,43 мг-экв/100 г почвы в слое 0-42 см до 39,14 (слой 0-37 см). Ещё больше эти различия в эродированных почвах. В пахотном слое слабоэродированных почв количество поглощённых оснований через 40-45 лет снизилось на 26,6, среднеэродированных – на 33,3 и сильноэродированных – на 30 % при приблизительно том же процентном соотношении поглощённых кальция и магния.

Обращает на себя внимание незначительное снижение на 0,3-1,1 % карбонатности в незэродированных и слабоэродированных разновидностях. Это может быть связано с изменениями климатических показателей региона: мягкие по температурному показателю зимы, неглубокое промерзание почвы, промачивание почвенной толщи на большую глубину. Всё это сопровождается процессом выщелачивания или, по мнению О.С. Безугловой и др., миграционно-сегрегационными процессами [3].

На средне- и сильноэродированных почвах в связи с большей потерей гумусового горизонта количество карбонатов заметно (на 40-60 %) увеличилось, что отразилось на реакции почвенной среды, которая из слабощелочной перешла в категорию щелочных.

Заключение

В целом изменения во времени химических, физико-химических, физических свойств почв водораздела и склонов обуславливаются интенсификацией хозяйственной деятельностью человека, недостаточным количеством вносимых удобрений, которые, по мнению большинства исследователей, являются первопричиной дегумификации. Это повлекло

за собой ряд других негативных изменений: снижение запасов элементов питания, суммы поглощённых оснований и др. На склоновых землях процесс дегумификации усугубляется проявлением эрозии и связанных с этим потерей верхнего наиболее плодородного слоя почвы, а соответственно, противозерозионной устойчивости. Последнее отразилось на наборе приёмов и мероприятий, составляющих почвозащитный комплекс и обеспечивающего не только контроль над эрозионными процессами, но и сохранение и воспроизводство плодородия почв.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Левченко В.М. О растворимости карбонатов магния / В.М. Левченко, Б.М. Минкин // Почвоведение, 1970. №8 – С.49-54
2. Безуглова О.С. Гумусное состояние почв юга России: монография / О.С. Безуглова; Ростов н/Д: Изд-во СКНЦВШ, 2001. – 228 с.
3. Безуглова О.С. Современное состояние чернозёмов Ростовской области / О.С. Безуглова, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников и др. // Современное состояние чернозёмов: Материалы междунар. научн. конф. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2013. – С. 6-10.
4. Казеев К.Ш. Биология почв юга России / К.Ш. Казеев, С.И. Колесников, В.Ф. Вальков – Ростов н/Д: Изд-во ЦВВР, 2004. – 350 с.
5. Некоторые показатели гумусного состояния чернозёма обыкновенного в ООПТ Нижнего Дона / Л.Ю. Гончарова, Е.Н. Симокович, А.Г. Селезнев // Современное состояние чернозёмов: Материалы междунар. научн. конф. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2013. – С. 78-79.
6. Шеуджин З.Р. Актуализация агроэкологической оценки почв Азово-Кубанской низменности с применением ГИС технологий / З.Р. Шеуджин. – Автореф. канд. дисс. – Краснодар, 2019. – 24 с.
7. Пономарева В.В. Гумус и почвообразование: (Методы и результаты изуч.) / В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова. – Л.: Наука: Ленингр. отд-ние, 1980. – 221 с.
8. Шапошникова И.М. Плодородие чернозёмов юга России / И.М. Шапошникова. – Ростов н/Д, 2004. – 231 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Levchenko V. M. O rastvorimosti karbonatov magnija [On the solubility of magnesium carbonates] / V. M. Levchenko, B. M. Minkin // Moscow: Pochvovedenie [Soil Science], 1970. No. 8-p. 49-54 [in Russian]
2. Bezuglova O. S. Gumusnoe sostojanie pochv juga Rossii: monografija [Humus state of soils in the south of Russia: a monograph] / O. S. Bezuglova; Rostov-on-Don: Publishing House of the North-Caucasian Scientific Center of Higher School, 2001 – 228 p. [in Russian]
3. Sovremennoe sostojanie chernozjomov Rostovskoj oblasti [The current state of chernozems of Rostov Oblast] / O. S. Bezuglova, K. Sh. Kazeev, S. I. Kolesnikov et al. // Sovremennoe sostojanie chernozjomov: Materialy mezhdunar. nauchn. konf. [The current state of chernozems: Proceedings of the international scientific conference]-Rostov-on-Don: Publishing House of the Southern Federal University, 2013. - pp. 6-10 [in Russian]
4. Biologija pochv juga Rossii [Biology of soils in the south of Russia] / K. Sh. Kazeev, S. I. Kolesnikov, V. F. Valkov-Rostov-on-Don: Publishing House TsVVR, 2004. - 350 p. [in Russian]
5. Nekotorye pokazateli gumusnogo sostojanija chernozjoma obyknovennogo v OOPT Nizhnego Dona [Some indicators of the humus state of ordinary chernozem in the protected areas of the Lower Don] / L. Yu. Goncharova, E. N. Simokovich, A. G. Seleznev // Sovremennoe sostojanie chernozjomov: Materialy mezhdunar. nauchn. konf [Modern state of chernozems: Proceedings of the international scientific conference]-Rostov-on-Don: Publishing House of the Southern Federal University, 2013. - pp. 78-79 [in Russian]
6. Sheudzhin Z. R. Aktualizacija agroekologicheskoy ocenki pochv Azovo-Kubanskoj nizmennosti s primeneniem GIS tekhnologij [Actualization of agroecological assessment of soils of the Azov-Kuban lowland with the use of GIS technologies]: extended abstract of Candidate's thesis / Z. R. Sheudzhin. - Krasnodar, 2019 – 24 p. [in Russian]
7. Ponomareva V. V. Gumus i pochvoobrazovanie: (Metody i rezul'taty izuch.) [Humus and soil formation: (Methods and results of the study)] / V. V. Ponomareva, T. A. Plotnikov. - L.: Nauka: Leningr. otd-nie, 1980. - 221 p. [in Russian]
8. Shaposhnikova I. M. Plodorodie chernozjomov juga Rossii [Fertility of chernozems of the south of Russia] / I. M. Shaposhnikova. - Rostov n/A, 2004 – 231 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.018>**ПРАВОВЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕЛЕГАЛЬНЫХ СВАЛОК
В РЕСПУБЛИКЕ СЕРБИЯ (НА ПРИМЕРЕ Г. БЕЛГРАД)**

Научная статья

Адамович М.^{1,*}, Харламова М.Д.², Попкова А.В.³, Гуселинкова А.С.⁴, Спирин М.И.⁵^{1, 2, 3} Институт экологии Российского университета дружбы народов (РУДН), Москва, Россия;⁴ Федеральная служба по надзору в сфере природопользования Росприроднадзора, Москва, Россия;⁵ ООО «УБИРАТОР», Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (1032185488[at]pfur.ru)

Аннотация

Негативные последствия неконтролируемых свалок больше всего ощущают люди, живущие рядом с ними. Неконтролируемые свалки не только портят имидж Белграда, но и крайне неблагоприятно влияют на окружающую среду, влияют на рост численности грызунов и загрязняют почву. На основе собранных и обработанных данных в статье описывается текущая экологическая ситуация в местах расположения неконтролируемых свалок в г. Белграде, предлагаются подходы к решению проблемы, проведен сравнительный анализ экономической эффективности рекультивации свалок с извлечением вторичных фракций и без извлечения, также рассчитаны затраты и чистый экономический результат для городских муниципальных образований при проводимой рекультивации неконтролируемых свалок.

Ключевые слова: неконтролируемые свалки, отходы, управление отходами, окружающая среда, переработка, рекультивация.

**LEGAL AND ECONOMIC ASPECTS OF THE RECLAMATION OF ILLEGAL LANDFILLS
IN THE REPUBLIC OF SERBIA (BELGRADE)**

Research article

Adamovich M.^{1,*}, Kharlamova M.D.², Popkova A.V.³, Guselinkova A.S.⁴, Spirin M.I.⁵^{1, 2, 3} Institute of Ecology of the Peoples' Friendship University of Russia (RUDN), Moscow, Russia;⁴ Federal Service for Supervision of Natural Resources of Rosprirodnadzor, Moscow, Russia;⁵ "UBIRATOR" LLC, Moscow, Russia

* Corresponding author (1032185488[at]pfur.ru)

Abstract

The negative consequences of uncontrolled landfills are most felt by people living near them. Uncontrolled landfills not only spoil the image of Belgrade but also have an extremely adverse effect on its environment affecting the growth of the number of rodents and pollute the soil. Based on the collected and processed data, the article describes the current environmental situation in the locations of uncontrolled landfills in Belgrade, suggests approaches to solving the problem, conducts a comparative analysis of the economic efficiency of landfill remediation with the extraction of secondary fractions and without extraction, also calculates the costs and net economic result for urban municipalities during the reclamation of uncontrolled landfills.

Keywords: uncontrolled landfills, waste, waste management, environment, recycling, reclamation.

Введение

Понятие неконтролируемых или несанкционированных свалок аналогично трактуется в законодательстве разных стран. Например, в России под несанкционированными свалками понимаются «...территории, не предназначенные для размещения отходов» [1], в Великобритании «it is the illegal deposit of any waste onto land including waste dumped tripped on site with no license to accept waste», то есть «нелегальное размещение любых отходов на земле, включая отходы, размещенные или выброшенные в тех местах, где нет лицензии на размещение отходов» [1]; в Сербии – это «...место, общественная территория, где жители неконтролируемо размещают на постоянное хранение различные виды отходов и которое не соответствует условиям, установленным постановлением, регулирующим размещение отходов на свалках» [2].

Неконтролируемые свалки являются серьезным источником загрязнения окружающей среды. По официальным данным Агентства по охране окружающей среды [3], приоритетными загрязняющими веществами выбросов при пожарах на свалках в Сербии являются оксиды азота и серы, ПАУ, диоксины, дибензофураны, пыль и соединения тяжелых металлов. Сам свалочный газ является продуктом процесса разложения захороненных биоорганических отходов, который содержит около 50% метана. Основным фактором, вызывающим недовольство местных жителей, является неприятный запах в непосредственной близости от свалок. Неправильное размещение отходов на негигиеничных свалках приводит к загрязнению почвы и грунтовых вод. Осадки, которые фильтруются через массу сбрасываемых отходов, растворяют вредные вещества, которые загрязняют как почву, так и грунтовые воды. Дополнительная проблема заключается в том, что загрязнение почвы не является исключительно локальным по своей природе, но ведет к загрязнению почвы, грунтовых и поверхностных вод на более широкой территории и косвенно создает угрозу для флоры и фауны. Дополнительной проблемой является загрязнение окружающей земли отходами, разносимыми ветром [4]. В данном исследовании были уточнены данные о трех несанкционированных свалках, определен морфологический состав складированных отходов, проведена экономическая оценка целесообразности разных вариантов рекультивации.

Законодательная база Республики Сербия в области обращения с отходами

В Сербии есть два закона, регулирующих санкционированные свалки и несанкционированные свалки: Закон об охране окружающей среды и Закон об обращении с отходами. Оба закона были опубликованы в Официальном вестнике Республики Сербия № 95/2018, в 2018 году.

Закон об охране окружающей среды [5] регулирует интегрированную систему защиты окружающей среды, которая «...обеспечивает реализацию права человека на жизнь и развитие в здоровой окружающей среде и сбалансированную взаимосвязь между экономическим развитием и окружающей средой в Республике Сербия» [5]. В Законе дается определение отходов [5]: «...отходы – это любое вещество или предмет, определенные законом, регулирующим обращение с отходами». В этом же законе также дается очень важное для неконтролируемых свалок определение рекультивации свалок [5]: «...рекультивация - это процесс принятия мер по прекращению загрязнения и дальнейшей деградации окружающей среды до уровня, безопасного для будущего использования участка, включая озеленение, восстановление и рекультивацию». В Законе об охране окружающей среды четко определено, что производитель или владелец отходов обязан, в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями, размещать отходы только в разрешенных и специально отведенных местах.

Закон об обращении с отходами [2] определяет субъектов по обращению с отходами, их ответственность и обязательства в сфере обращения с отходами. Закон регулирует: виды и классификацию отходов; планирование и организацию деятельности по обращению с отходами; управление потоками специальных отходов; условия и порядок выдачи разрешений; трансграничное перемещение отходов; отчетность по отходам и базы данных; финансирование управления отходами; надзор, а также другие вопросы, важные для обращения с отходами [2]. Одной из основных целей, заявленных в этом законе, является закрытие и рекультивация нерегулируемых и неконтролируемых свалок, при этом закон точно определяет, что такое неконтролируемые свалки [2].

Закон закрепляет три вида отходов - коммунальные, коммерческие и промышленные, которые, в свою очередь, подразделяются на три группы, в зависимости от того, как они влияют на людей и окружающую среду, - на опасные, неопасные, и инертные. В соответствии с законом об обращении с отходами, статья 36, определены возможные места для временного хранения отходов. Отходы могут храниться в специально оборудованных местах по месту нахождения производителя, владельца и/или другого держателя отходов. Например, временное хранение отходов может осуществляться в центрах сбора и на перегрузочных станциях, то есть объектах, на которых осуществляется деятельность по сбору, сортировке, хранению, а также подготовке к транспортировке на объекты для повторного использования [2]. Опасные отходы могут временно храниться по месту нахождения производителя, владельца и/или другого держателя отходов сроком до 12 месяцев. Закон предусматривает, что хранение отходов на свалках является последним вариантом, если нет возможности какой-либо обработки этих отходов, при этом свалка должна отвечать санитарным и техническим требованиям, в соответствии с выданным разрешением.

Инспекционный надзор и штрафы

Порядок инспекционного надзора в области обращения с отходами и их транспортировки, а также в области контроля и ликвидации неконтролируемых свалок установлен Законом об обращении с отходами, статья 84. Согласно закону, при проведении инспекционного надзора инспектор имеет право и обязан контролировать план управления отходами, использование и применение соответствующих технологий и эффективное использование сырья и энергии, осуществлять контроль за захоронением и за обращением с отходами, проверять квалификацию работающих специалистов. За невыполнение требований на компанию, предприятие или любое другое юридическое лицо может налагаться штраф в размере от 1 500 000 до 3 000 000 динаров (14915 до 29825 долларов).

Таким образом, точки зрения формирования нормативно-правовой базы в области охраны окружающей среды и обращения с отходами, в Сербии построена необходимая основа для рационального управления твердыми коммунальными отходами. Однако, сложившаяся на сегодняшний день ситуация показывает, что недостаточная информированность граждан о правильной системе сбора и принципах рационального управления отходами приводит к тому, что многие люди сбрасывают отходы на незаконные свалки. Ситуацию также усугубляет недостаточно частый вывоз отходов - контейнеры опорожняются один раз три дня. Еще один важный фактор, способствующий неэффективному управлению отходами, это отсутствие в Сербии современных технологий переработки и не развитая система сбора утильных фракций, а также большая проблема заключается в том, что для правительства Сербии вопросы обеспечения экологической безопасности и реализация европейских принципов циркулярной экономики всегда находятся на втором месте по значимости и поэтому недостаточно финансируются.

Объекты исследования

Объектами данного исследования являлись несанкционированные свалки, расположенные на территории г. Белграда. Обычно свалки расположены вдоль дорог и рек или в отдаленных районах Белграда. Их точное количество неизвестно, потому что они появляются так быстро, что за изменениями сложно следить. Город Белград впервые начал вести учет незаконных свалок в 2005 году [3]. По последним данным Администрации города Белграда [6] (Секретариат по охране окружающей среды), на территории города Белграда с 22 марта 2019 г. существует 33 полигона, на которых находится около 7480 м³ отходов (см. Табл. 1).

Таблица 1 – Количество несанкционированных свалок на территории г. Белграда

Муниципалитет	Количество свалок	* Расчетный объем отходов, м ³	Количество свалок	** Расчетный объем отходов, м ³
СТАРЫЙ ГОРОД	9	18		
ВРАЧАР	14	96		
ПАЛИЛУЛА	30	3500	4	1320
ЧУКАРИЦА	5	20500	7	330
ЗЕМУН	34	6000	4	1800
ЗВЕЗДАРА	3	6	4	310
НОВЫЙ БЕОГРАД	12	7500	5	1070
ЛАЗАРЕВАЦ	9	100		
СОПОТ	8	145		
СУРЧИН	7	8500		
МЛАДЕНОВАЦ	11	1200		
ГРОЦКА	89	6630		
ОБРЕНОВАЦ	67	13000		
РАКОВИЦА			5	1450
ВОЖДОВАЦ			4	1200
ИТОГО	298	67195	33	7480

Примечание: * использованы данные Агентства по охране окружающей среды, Министерство охраны окружающей среды Республики Сербия, 2005 г. [3]; ** использованы данные Секретариата по охране окружающей среды города Белграда, 2019 г. [6]

Однако, реальная ситуация отличается от официальной, потому что не все муниципалитеты представляют свои данные и потому, что ситуация быстро меняется. В данной статье были обследованы три несанкционированные свалки в городе Белграде (см. рис. 1). Они расположены в трех разных муниципальных образованиях города, и, как видно из рисунка, две находятся на границе городской территории, а третья находится в непосредственной близости от реки Дунай [7].

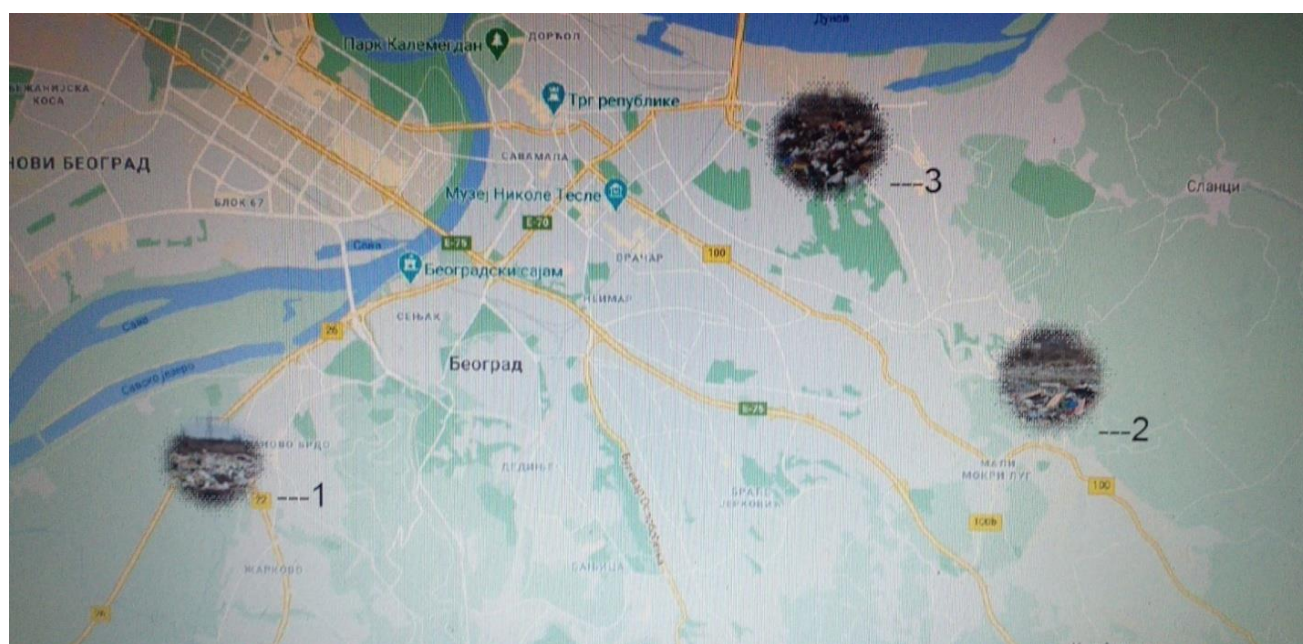


Рис. 1 – Схема расположения несанкционированных свалок №1-3 в муниципальных округах г. Белграда [7]

Свалка № 1. Несанкционированная свалка расположена в муниципалитете Чукарица, в поселке недалеко от дороги Обреновачки пут, на повороте на поселок Жарково со стороны поселка Обреноваца, объем свалки в настоящее время оценивается примерно в 300 м³. Эта свалка была создана после сбора данных о незаконных свалках в Белграде, которые

приведены в табл. 1. Свалка расположена с правой стороны от дороги и составляет в длину около 100 метров, шириной около 10 метров и максимальной высотой до одного метра. Отходы занимают 30% площади свалки. Согласно правовым нормам Сербии, санитарно-защитная зона для свалок составляет 500 квадратных метров, однако в данном случае ближайшие дома расположены на расстоянии 150 метров от границ свалки. [7]

В результате обследования был установлен примерный морфологический состав свалки. Максимальное количество отходов на свалке составляют твердые бытовые отходы (65%). Среди них утильные фракции, которые можно использовать как вторичное сырье составляют 60%. К ним относятся: ПЭТ-15%, бутылки HDPE-10%, отходы твердого пластика-5%, одноразовая посуда из полистирола - 5%, металлы-5%, бумага и картон -10%, прочие отходы упаковки - 10%. Таким образом, энергетические фракции, которые могут быть подвергнуты термической обработке с целью получения энергии, составляют примерно 15%; биоразлагаемые отходы составляют около 25%. Второе место, около 25% по объему, занимает строительный мусор (остатки бетона, строительный кирпич). Также на свалке присутствуют крупногабаритные отходы, объем которых составляет примерно 10% — это стиральные машины, старая мебель и другая бытовая техника. [7]

Свалка 2. Вторая обследуемая свалка, объем которой в настоящее время оценивается примерно в 1600 м³, расположена в белградском муниципалитете Звездара, в поселке Мириево в конце улицы Витезова Караджорджеве звезды. Эта свалка образовалась уже после сбора данных о незаконных свалках в Белграде, которые приведены в табл. 1. Свалка располагается с левой и правой стороны улицы и составляет в длину около 100 метров, в ширину 40 метров, максимальная высота - менее одного метра. Отходы занимают 40% площади свалки. В непосредственной близости от свалки, примерно в 50 метрах, находится незаконное самовольное поселение, построенное преимущественно из картона и дерева. Ближайшая жилая часть поселка Мириево находится в 200 метрах от свалки [7].

В результате обследования был установлен примерный морфологический состав отходов, который аналогичен составу на свалке №1. Максимальное количество отходов на свалке составляют твердые бытовые отходы (55%). Среди них утильные фракции, которые можно использовать как вторичное сырье, составляют 65%; энергетические фракции - около 10%; биоразлагаемые отходы - около 25%, строительный мусор - около 30%, крупногабаритные отходы- 15% [7].

Свалка 3. В белградском муниципалитете Палилула, вдоль улицы Вука-Врчевича, вдоль неклассифицированной дороги к мосту Панчево протянулась неконтролируемая свалка, объем которой в настоящее время оценивается примерно в 2500 м³. Свалка расположена с левой стороны улицы и составляет - в длину около 500 метров, в ширину 10 метров, максимальная высота - менее одного метра. Жилая застройка находится в 800 метрах от свалки, но в непосредственной близости примерно в 50 метрах расположен несанкционированный самовольно построенный поселок, а на расстоянии 200 метров находится река Дунай, где люди ловят рыбу. Поэтому существует опасность загрязнения воды и атмосферного воздуха выбросами различных вредных веществ, образующихся при разложении отходов свалки, а также во время самовозгораний.

Морфологический состав свалки аналогичен составу свалок №1 и №2, объем утильных фракций - около 70%. Таким образом, можно сделать вывод, что утильные фракции составляют в среднем около 60% от объема несанкционированных свалок и могут быть утилизированы в качестве вторичных материальных ресурсов. Следует отметить, что, поскольку указанные свалки образовались не так давно, то находящиеся на них отходы не подверглись сильному уплотнению и их состав не сильно изменился, что позволяет достаточно эффективно рассортировать утильные фракции [7].

Методы исследования

Для расчета экономической эффективности утилизации компонентов отходов в качестве вторичных материальных ресурсов (ВМР) и оценки стоимости захоронения на полигоне использованы закупочные цены на вторичное сырье в г. Белград и стоимость вывоза твердых коммунальных отходов.

Оценка экономической эффективности утилизации несанкционированных свалок

В проведенном исследовании авторами оценивалась целесообразность утилизации несанкционированных свалок с учетом транспортных затрат и накладных расходов. Проведено сравнение стоимости вывоза отходов (за 1м³) без сортировки на специально отведенный полигон для последующего захоронения (данные из прейскуранта коммунального предприятия «Городская чистота» [8]), а также оценка прибыли, получаемой при сортировке и последующей утилизации вторичного сырья из общего объема отходов свалок с учетом возможностей предприятий-переработчиков. Стоимость утильных фракций определена по закупочным рыночным ценам в округах г. Белграда, стоимость сортировки (за 1м³) – из данных какие зарплаты через молодежный кооператив [9]. Исходные данные для расчетов и результаты приведены в табл. 2, табл. 3. и табл. 4.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета экономической рентабельности утилизации свалок

Показатель	Свалка № 1		Свалка № 2		Свалка № 3	
Общий объем свалки (м ³)	(100)	300	(100)	1600	(100)	2500
Доля (%) и объем (м ³) «хвостов» для захоронения	61	183	64.25	1028	58	1450
Доля (%) и объем (м ³) утильных фракций	39	117	35.75	572	42	1050

Таблица 3 – Результаты расчета прибыли, получаемой от реализации вторичного сырья

Тип вторичного сырья	Стоимость сырья, \$/кг	Свалка №1		Свалка №2		Свалка №3	
		Масса, кг	Прибыль, \$	Масса, кг	Прибыль, \$	Масса, кг	Прибыль, \$
ПЭТ	0,21	390	81,25	2,346,66	492,79	3,500,00	735,00
ХДП	0,03	18,330	549,90	82,720,00	2,481,60	81,780,00	2,453,40
Отходы твердого пластика	0,15	9,165	1,374,75	49,632,00	7,444,80	81,780,00	12,267,00
Одноразовая посуда	0,005	23,400	117,00	126,720,00	633,60	420,000,00	2,100,00
Металлы	0,07	11,700	819,00	42,240,00	2,956,18	105,000,00	7,350,00
Бумага и картон	0,02	4,875	97,50	22,000,00	440,00	65,625,00	1,312,50
Отходы упаковки	0,005	17,355	86,78	70,488,00	352,44	77,875,00	389,38
ИТОГО			3 126,18		14 801,41		26 607,28

Таблица 4 – Сравнение экономических затрат и экономической эффективности ликвидации свалок [8]

Показатель	Свалка № 1	Свалка № 2	Свалка № 3
Стоимость захоронения всего количества отходов свалки, \$	3977,47	21213,17	33145,58
Стоимость захоронения не утилизированных отходов, \$	2426,26	13629,46	19224,43
Экономия от извлечения вторичного сырья, \$	1551,21	7583,71	13921,15
Выручка от продажи вторичного сырья, \$	3126,18	14801,41	26607,28
Стоимость сортировки, \$	2380,95	12698,40	19841,25
Общая экономия муниципалитета, \$	2 296,44	9 686,72	20 687,18

Примечание: составлено по [8]

Как видно из таблиц, наиболее рациональным способом ликвидации свалок №1-3 является сортировка утильных фракций, их последующая подготовка и утилизация в качестве вторичного сырья. При извлечении вторичного сырья муниципалитеты могут получить прибыль от 3-х до 26-ти тысяч долларов, при этом экономия, по сравнению с захоронением, с учетом затрат на сортировку и обработку, составит от 2-ух до 21-ой тысячи долларов.

Заключение

Неконтролируемые свалки твердых коммунальных отходов в городах Республики Сербия обособлены от комплекса муниципального управления, они представляют собой особые объекты, которые являются значимыми источниками загрязнения окружающей среды в городах, в том числе почв, расположенных непосредственно под телами свалок. Если принять во внимание непосредственный вред, наносимый нелегальными свалками окружающей среде, ситуация более чем тревожная и требует регулирования на всех уровнях исполнительной власти - государственном, а именно на уровне Министерства охраны окружающей среды республики Сербия, на уровне городских муниципалитетов, но, в основном, и самими гражданами. В существующую систему обращения с отходами необходимо внедрить программы информированности и воспитания экологической грамотности у общественности.

Исходя из опыта развитых европейских государств, в первую очередь Германии, Финляндии, Швеции и др., по организации раздельного сбора отходов жилого и коммерческого секторов, необходимо понимать, что именно раздельный сбор является основой для успешной утилизации и использования вторичного ресурсного потенциала отходов. Однако в Республике Сербия, где раздельный сбор не организован, и, исходя из закупочных цен на вторичное сырье и возможностей привлечения дешевой рабочей силы для сбора отходов с неконтролируемых свалок, можно сделать вывод об экономической целесообразности сортировки и последующей продаже заготовителям утильных фракций отходов, при этом городские муниципалитеты будут иметь экономию, а в некоторых случаях - увеличение своего бюджета.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Методические рекомендации по проведению рейдовых мероприятий в целях выявления мест несанкционированного размещения твердых бытовых отходов на территориях Российской Федерации

(актуализированы письмом Росприроднадзора от 23.05.2012 N BK-03-03-36/6231). [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/law/podborki/nesankcionirovannaya_svalka_jeto/ (дата обращения: 16.08.2021)

2. Закон об обращении с отходами («Официальный вестник РС», № 36/2009, 88/2010, 14/2016 и 95/2018 - другой закон). [Электронный ресурс]. URL: https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_upravljanju_otpadom.html (дата обращения: 16.08.2021)

3. Агентство по охране окружающей среды. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.sepa.gov.rs/index.php> (дата обращения: 16.08.2021)

4. Неконтролируемые свалки - неразрешимая проблема в Сербии, статья с сайта Облакодер. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.oblakoder.org.rs/divlje-deponije-neresiv-problem-u-srbiji/> (дата обращения: 16.08.2021)

5. Закон об охране окружающей среды // «Официальный вестник РС», № 135/2004, 36/2009, 36/2009 - другой закон, 72/2009 - другой закон, 43/2011, 14/2016, 76 / 2018, 95/2018 - другие законы 95/2018 - другие законы. [Электронный ресурс]. URL: https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_zivotne_sredine.html (дата обращения: 16.08.2021)

6. Предложение по реабилитации свалок на территории города Белграда, Секретариат по охране окружающей среды, 22 марта 2019 г. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.zdravlje.org.rs/> (дата обращения: 18.08.2021)

7. Адамович М. Экологические Особенности Воздействия На Почву Несанкционированных Свалок Тко В Г. Белград (Сербия) / М. Адамович, М.Д. Харламова, А.В. Луканин и др. // Научно-технический журнал «Мониторинг. Наука и технологии». – № 1 (47). – 2021.

8. Прейскурант на закупку вторичного сырья. [Электронный ресурс]: URL: http://www.gradskacistoca.rs/?page_id=611 (дата обращения: 16.08.2021)

9. Студенческий молодежный кооператив. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.sbu-zadruga.rs/korisne-informacije/kolike-su-plate-preko-omladinske-zadruge/>. (дата обращения: 16.08.2021)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Metodicheskie rekomendacii po provedeniju rejdivovyx meroprijatiji v celjakh vyjavlenija mest nesankcionirovannogo razmeshhenija tverdykh bytovykh otkhodov na territorijakh Rossijskoj Federacii (aktualizirovany pis'mom Rosprirodnadzora ot 23.05.2012 N VK-03-03-36/6231) [Methodological recommendations for conducting raid measures in order to identify places of unauthorized placement of solid household waste in the territories of the Russian Federation (updated by the letter of Rosprirodnadzor dated 23.05.2012 N VK-03-03-36/6231)] [Electronic resource], URL: http://www.consultant.ru/law/podborki/nesankcionirovannaya_svalka_jeto/ (accessed: 16.08.2021) [in Russian]

2. Zakon ob obrashhenii s otkhodami («Official'nyj vestnik RS», № 36/2009, 88/2010, 14/2016 i 95/2018 - drugoj zakon) [The Law on Waste Management ("Official Bulletin of the Republic of Serbia", No. 36/2009, 88/2010, 14 / 2016 and 95/2018 - other law)] [Electronic resource], URL: https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_upravljanju_otpadom.html (accessed: 16.08.2021) [in Russian]

3. Agentstvo po okhrane okruzhajushhejj sredy [Environmental Protection Agency]. [Electronic resource], URL: <http://www.sepa.gov.rs/index.php> (accessed: 16.08.2021) [in Russian]

4. Nekontroliruemye svalki - nerazreshimaya problema v Serbii, stat'ja s sajta Oblakoder [Uncontrolled landfills - an unsolvable problem in Serbia, an article from the website Cloudoder]. [Electronic resource]. URL: <https://www.oblakoder.org.rs/divlje-deponije-neresiv-problem-u-srbiji/> (accessed: 16.08.2021) [in Russian]

5. Zakon ob okhrane okruzhajushhejj sredy («Official'nyj vestnik RS», № 135/2004, 36/2009, 36/2009 - drugoj zakon, 72/2009 - drugoj zakon, 43/2011, 14/2016, 76 / 2018, 95/2018 - drugie zakony 95/2018 - drugie zakony) [The Law on Environmental Protection ("Official Journal of the Republic of Serbia", No. 135/2004, 36/2009, 36/2009-another law, 72/2009-another law, 43/2011, 14/2016, 76 / 2018, 95/2018 - other laws 95/2018 - other laws)] [Electronic resource], URL: https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_zivotne_sredine.html (accessed: 16.08.2021) [in Russian]

6. Predlozhenie po rehabilitaciji svalok na territorii goroda Belgrada, Sekretariat po okhrane okruzhajushhejj sredy, 22 marta 2019 g. [Proposal for the rehabilitation of landfills on the territory of the City of Belgrade, the Secretariat for Environmental Protection, March 22, 2019] [Electronic resource] , URL: <https://www.zdravlje.org.rs/> (accessed: 18.08.2021) [in Russian]

7. Adamovich M. Ehkologicheskie Osobennosti Vozdejstvija NA Pochvu Nesankcionirovannykh SVALOK TKO V G. BELGRAD (Serbija) [Ecological Features Of The Impact On The Soil Of Unauthorized Landfills Of Msw In Belgrade (Serbia)] / M. Adamovich, M. D. Kharlamova, A. V. Lukanina, et al. // Nauchno-tehnicheskij zhurnal «Monitoring. Nauka i tekhnologii» [Scientific and Engineering Journal "Monitoring.Science and Technology"] No. 1 (47) 2021 [in Russian]

8. Prejjskurant na zakupku vtorichnogo syr'ja Ehlektronnyj resurs [Price list for the purchase of secondary raw materials]. [Electronic resource], URL: http://www.gradskacistoca.rs/?page_id=611 (accessed: 16.08.2021) [in Russian]

9. Studencheskij molodezhnyj kooperativ [Student Youth Cooperative]. [Electronic resource], URL: <https://www.sbu-zadruga.rs/korisne-informacije/kolike-su-plate-preko-omladinske-zadruge/>. (accessed: 16.08.2021) [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.019>

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ОБРАЗЦАХ КЕРНА, ИЗВЛЕЧЕННОГО ИЗ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Научная статья

Гриб Н.Н.^{1,*}, Качаев А.В.², Редлих Э.Ф.³

¹ ORCID: 0000-0002-3818-9473;

^{1, 2, 3} Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова,
Нерюнгри, Россия;

¹ Академия наук Республики Саха (Якутия), Якутск, Россия

* Корреспондирующий автор (grib-n-n[at]yandex.ru)

Аннотация

Цель исследования – оценить степень изменения физико-механических свойств (ФМС) горных пород, извлеченных из глубины их естественного залегания, от времени нахождения их на дневной поверхности. Основная задача, решаемая при исследованиях – выполнить изучение ФМС образцов керна, начиная с момента извлечения его из скважины на поверхность, через равные промежутки времени, с помощью экспресс-метода.

В процессе экспериментальных исследований проведены испытания физико-механические свойства горных пород сразу же после извлечения керна на поверхность и далее определения продолжались с интервалом в 2 часа. Установлены необратимые изменения ФМС от времени пребывания проб керна на дневной поверхности начиная от 2 до 4 часов, в зависимости от литологического типа пород.

Ключевые слова: керн, физико-механические свойства, релаксация напряжения.

CHANGES IN PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES IN CORE SAMPLES EXTRACTED FROM A ROCK MASS

Research article

Grib N.N.^{1,*}, Kachaev A.V.², Redlikh E.F.³

¹ ORCID: 0000-0002-3818-9473;

^{1, 2, 3} Technical Institute (branch) of the M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Neryungri, Russia;

¹ Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia

* Corresponding author (grib-n-n[at]yandex.ru)

Abstract

The purpose of the study is to assess the degree of change in the physical and mechanical properties of rocks extracted from the depth of their natural occurrence, from the time they were on the daytime surface. The main objective of the research is to perform a study of the physical and mechanical properties of core samples, starting from the moment of its extraction from the well to the surface, at regular intervals using the express method.

In the course of experimental studies, the physical and mechanical properties of rocks were tested immediately after the core was extracted to the surface, then the measurements continued at intervals of 2 hours. The research demonstrates irreversible changes in the physical and mechanical properties from the residence time of core samples on the daylight surface ranging from 2 to 4 hours depending on the lithological type of rocks.

Keywords: core, physical and mechanical properties, relaxation.

Введение

Информация о физико-механических свойствах (ФМС) горных пород, в их естественном залегании, весьма важна при разработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах [1]. Особенно это актуально в геосинклинальных областях.

Также очень важно знание физико-механических свойств, приближенных к пластовым условиям при разработке эффективных технологий, при добыче углеводородов с больших глубин и с трудно извлекаемыми запасами [2], [3], [4].

Интересный подход на основе методов математического моделирования предлагают авторы работ [4], [5] при изучении изменения геофизических параметров в процессе подъема керна с больших глубин. Предложен подход, позволяющий оценить изменение пористости и трещиноватости пород-коллекторов при извлечении керна с больших глубин на поверхность.

Приведение ФМС пород к условиям их естественного залегания может быть получено на основе использования эффектов памяти [6] путем трехосного сжатия извлеченного керна. В этой же работе авторы отмечают, что накопление повреждений приводит к ухудшению проявления эффекта памяти [6], поэтому необходим поиск альтернативных методов изучения изменения физических свойств в образцах керна, извлеченного из горного массива.

Экспериментальные исследования

При извлечении образцов горных пород (керна) на поверхность, при бурении скважин, с течением времени в них происходят необратимые изменения физических свойств. Одним из основных факторов, влияющих на данный процесс, является релаксация напряжений в образцах горных пород, извлеченных из массива.

Уменьшение напряжений при постоянной деформации - явление релаксации, связано с переходом упругих деформаций в пластические остаточные. При релаксации упругие деформации в породе, извлеченной из скважины, с течением времени постепенно переходят в пластические, но общая деформация во времени не изменяется. При этом происходит падение напряжений [7].

Релаксация напряжений, по существу, есть процесс трансформации упругой энергии деформирования в энергию пластичного или вязкостного течения. Иными словами, процесс релаксации представляет собой ползучесть при напряжениях, которые падают во времени пропорционально нарастающим необратимым деформациям. Процессы, сопровождающиеся релаксацией напряжений, относятся к релаксационным [8].

В Южно-Якутском каменноугольном бассейне, на Сылахском месторождении, были выполнены экспериментальные исследования по изучению релаксационных процессов, протекающих в образцах основных литологических типов пород, слагающих разрез месторождения, в зависимости от времени нахождения керна на дневной поверхности.

Сылахское месторождение расположено в юго-западной части Усмунского угленосного района, Южно-Якутского каменноугольного бассейна. Следует отметить, что месторождение расположено в Олекмо-Становой сейсмической зоне и массив горных пород находится в условия повышенных тектонических напряжений.

Исследования проводились на участке первой очереди отработки. В стратиграфическом плане участок представлен мезозойской угленосной формацией, верхнеюрскими отложениями кабактинской свиты (J_3kb). Мощность кабактинской свиты составляет 1000 -1100 метров [9].

Основной промышленный интерес, на изучаемом участке представляют пласты K_4 и K_{12} . Марка углей ГЖ. Эпигенез пород соответствует метаморфизму углей и относится к этапу позднего катагенеза. На изучаемой площади исследований изучен не полный разрез свиты. Мощность изученного разреза, залегающего стратиграфически выше каждого из пластов, составляет 200-225 м.

Углевмещающие породы представлены преимущественно среднезернистыми (ПС) и мелкозернистыми песчаниками (ПМ) с редкими маломощными прослоями алевролитов (АК) приуроченных к горизонтам угольных пластов. В средней части разреза чаще встречаются алевролиты. Песчаники по всему разрезу свиты имеют однообразный петрографический состав, представленный кварцем, полевыми шпатами и обломками пород. Сортировка и окатанность обломочного материала ухудшается с увеличением крупности зерна. В составе полевых шпатов выделяются в различной степени серицитизированные кислые плагиоклазы (альбит, альбит-олигоклаз, олигоклаз). В подчиненном количестве встречаются зерна более основного плагиоклаза. Калиевые полевые шпаты представлены ортоклазом, калишпат-пертитом, микроклином. Содержание полевых шпатов в верхней части свиты 28-44%, в нижней – 16-24%. Обломки пород представлены кислыми эффузивами, микропегматитами, микрокварцитами, кремнисто-слюдистыми сланцами, кварцевыми порфирами и др. Количество обломков вниз по разрезу свиты изменяется от 13-31% до 11-20% [9], [10].

Цемент песчаников по типу относится к поровому, порово-плечному, редко – базальному, составляет до 10-15% объема пород, в базальном типе достигает 30-45%. По составу цемент кремнисто-гидрослюдистый, хлорито-гидрослюдистый, слюдистый, карбонатный, редко хлорито-ломонтитовый и ломонтитовый.

По составу и соотношению главных породобразующих компонентов песчаники относятся к трем группам: полевошпат-кварцевых, аркозовых и мезомикто-кварцевых граувакк.

Алевролиты представлены крупно- и мелкоалевритовыми алевролитами. Минеральный состав их идентичен составу песчаников, при этом минеральные компоненты резко преобладают над обломками пород. Цемент базальный, реже порово-плечный, имеет гидрослюдистый и хлорито-слюдистый состав.

Слоистость от субгоризонтальной и пологоволнистой в тонкозернистых и алевролитовых разностях до крупной косой в среднезернистых песчаниках.

Трещиноватость пород, слагающих Сылахское месторождение, представлена двумя типами: трещины напластования, совпадающие со слоистостью, заполненные органическим и глинистым веществом, и тектонические трещины, заполненные гидроокислами железа, карбонатами или же лишенные какого-либо заполнителя. Из литологических разновидностей пород наибольшей трещиноватостью обладают мелкозернистые разности (алевролиты, мелкозернистые песчаники), в меньшей степени трещиноваты среднезернистый песчаник. Коэффициент трещиноватости: алевролиты - 7,3; песчаник мелкозернистый - 4,6; песчаник среднезернистый - 3,9 [10].

При проведении экспериментальных исследований использовался экспресс-метод определения физико-механических свойств, т.е. ФМС изучались непосредственно на площадках бурящихся скважин, сразу же после извлечения керна на поверхность.

Для реализации экспресс-метода определения физико-механических свойств горных пород использовалась специализированная полевая станция определения физико-механических свойств пород и углей (СФМП), разработанная в отделе угольной геофизики ВНИИГИС [11]. Станция обеспечивает практически непрерывное изучение прочностных и упругих характеристик образцов пород по разрезу скважины при высокой достоверности, качестве и оперативности работ.

Время поднятия керн из скважины, в зависимости от глубины, составляло 15 – 30 минут.

Перед испытаниями выполняется тщательная геологическая документация керна. На основании этой документации отбираются образцы пород, из которых были сформированы пробы. Пробы формировались по литотипам. Далее отобранный керн распиливался на образцы для испытаний, по 6 штук в пробе. Из одного литологического типа формировалось 8-12 проб, для каждого цикла испытаний. Исследования выполнены в 10 инженерно-геологических скважинах, с выходом керна больше 85%. На алевролитах было выполнено 12 циклов, песчаник мелкозернистый - 23 цикла, песчаники среднезернистых – 32 цикла. Идентичность образцов в пробе определялась по скорости распространения упругих волн и объемной плотности. Различие данных параметров в образцах, конкретной пробы, не превышало 10%.

Фрагмент схематического геологического разреза с расположением проб приведен на рисунке 1.

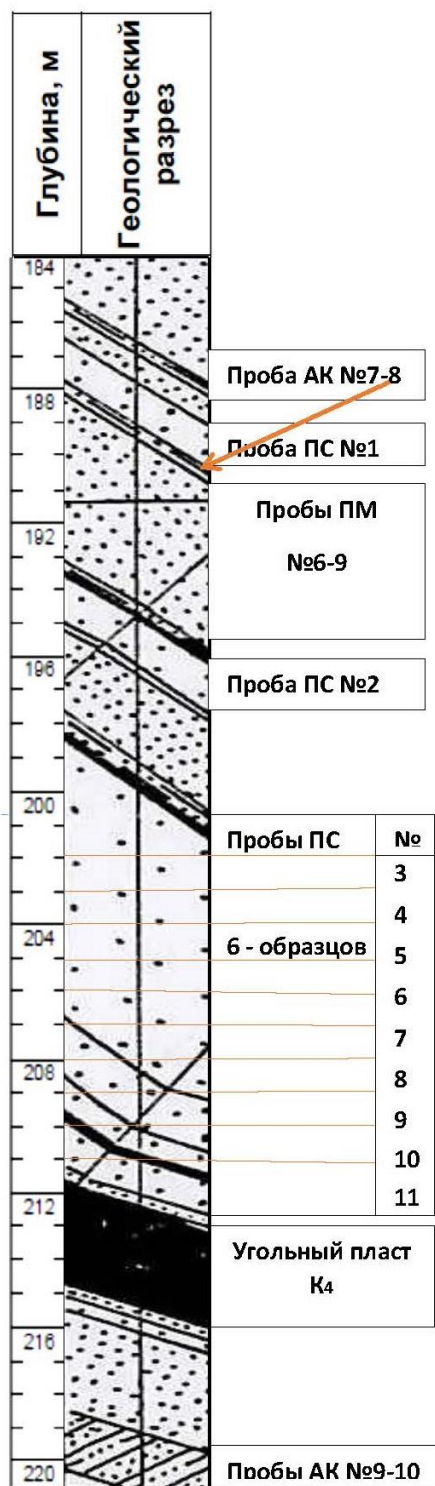


Рис. 1 – Фрагмент схематического геологического разреза и схема отбора проб

Примечание: условные обозначения в тексте

Подготовленные пробы подвергались испытаниям, каждая проба содержит 6 образцов, в которых изучались: скорость распространения продольных волн V_p , предел прочности при растяжении σ_p , магнитная восприимчивость χ и объемная плотность δ_o , в зависимости от времени. Значение данных показателей определялось как среднее значение из рядовых определений, выполненных на образцах, входящих в пробу. За начало отсчета времени принималось время извлечения керна из скважины и далее испытания проводились с интервалом в два часа, так как необходимо было изучить как изменяются указанные выше параметры в течении времени пребывания образцов горных пород на дневной поверхности.

Исследования проводились на песчаниках среднезернистых, мелкозернистых и алевролитах, поднятых с глубин (в среднем) 160 - 240 м.

В образцах песчаников среднезернистых, поднятых с глубины 160 - 170 м., в течении первых двух часов происходит снижение скорости распространения продольных волн, магнитной восприимчивости, предела прочности при растяжении, объемная плотность не изменяется (рис. 2). Скорость распространения продольных волн в интервале 2-8 часов практически не изменяется (рис. 2.1). Начиная с 8 часов и до 15 часов отмечается резкое снижение скорости распространения продольных волн (V_p), достигающее более 20% на 15 часов, далее с 16 до 24 часов наблюдается незначительные синусоидальные колебания V_p связанные с перераспределением напряжений.

Предел прочности пород при растяжении, определенный методом разрушения образцов сферическими инденторами в интервале 4-18 часов, практически не изменяется, а с 18 до 24 часов наблюдается резкое снижение прочности, достигающее 30% (рис. 2.2).

Магнитная восприимчивость χ в интервале 4-12 часов в исследуемых пробах не изменялась, после 12 часовой отметки происходит резкое снижение χ и к 20 часам достигает более 30% (рис. 2.3).

Отмеченные выше изменения физико-механических свойств связаны с явлениями релаксации, т.е. в образцах горных пород, извлеченных из массива с глубины 160 м., происходит падение напряжения (имевшего место в массиве) во времени пропорционально нарастающим необратимым деформациям, что влечет за собой изменение физико-механических свойств. Затем происходит трещинообразование, которое снижает прочностные и упругие свойства горных пород.

Объемная плотность (δ_0) исследуемых пород не изменялась на протяжении всего эксперимента (рис. 2.4), этот факт подтверждает вывод о том, что изменение физико-механических свойств горных пород связано с релаксацией напряжений, а не потерей влаги при высыхании образцов или насыщении, если они помещены в емкость с водой.

В песчаниках мелкозернистых, изменение скорости распространения продольных волн аналогично таковому в песчаниках среднезернистых, но начало снижения скорости отмечено после пятичасовой отметки пребывания керна в атмосферных условиях. Снижение скорости происходит более плавно, чем в алевролитах и песчаниках среднезернистых, и к 8 ч градиент достигает 20 %.

Изменения прочности при растяжении имеет более сложную зависимость от времени, чем изменения скорости распространения продольных волн. С момента поднятия керна на дневную поверхность и до 4 ч. наблюдаются волнообразные изменения предела прочности, с амплитудой колебаний около 7 %, далее наблюдается резкое изменение предела прочности и к 5 ч. он уменьшается до 20 %. С 5 до 8 ч. происходят синусоидальные колебания прочности с амплитудой 5 %, но при этом первоначальная прочность не достигается.

На образцах алевролита, после полуторачасового пребывания керна в атмосферных условиях, в пробе резко снижалась скорость распространения продольных волн, и к третьему часу градиент составлял порядка 40 %. Это связано с явлениями релаксации, т.е. в образцах горной породы происходит падение напряжений во времени пропорционально нарастающим необратимым деформациям, что влечет за собой снижение скорости распространения продольных волн. Далее в течении 6 ч. изменения скоростных свойств, в образцах алевролита, незначительны. После 6 часов пребывания алевролита на дневной поверхности происходит интенсивное образование трещин и образцы разрушаются по напластованию.

Несколько иначе в алевролитах происходит изменение прочностных свойств. Резкое уменьшение прочности начинается после 2 ч. пребывания образцов на дневной поверхности и протекает примерно 4 ч. Градиент изменения прочности составляет около 50%. После 4 ч. пребывания на поверхности значительных изменений предела прочности, при одноосном растяжении, не наблюдалось. Как было отмечено выше, после 6 ч. пребывания на поверхности, испытания образцов алевролита выполнить не удалось, так как они самопроизвольно разрушились.

Эксперименты, выполненные Ф.Ф. Михайличенко, И.И. Катковым [12] показали, что перераспределение напряжений в образцах керна происходит волнообразно, если в одной части образца наблюдается сжатие, то в другой растяжение. Эти волны идут от периферии к центру образца. Поэтому описанные выше волнообразные изменения скорости распространения ультразвуковых волн и магнитной восприимчивости можно объяснить характером перераспределения напряжений.

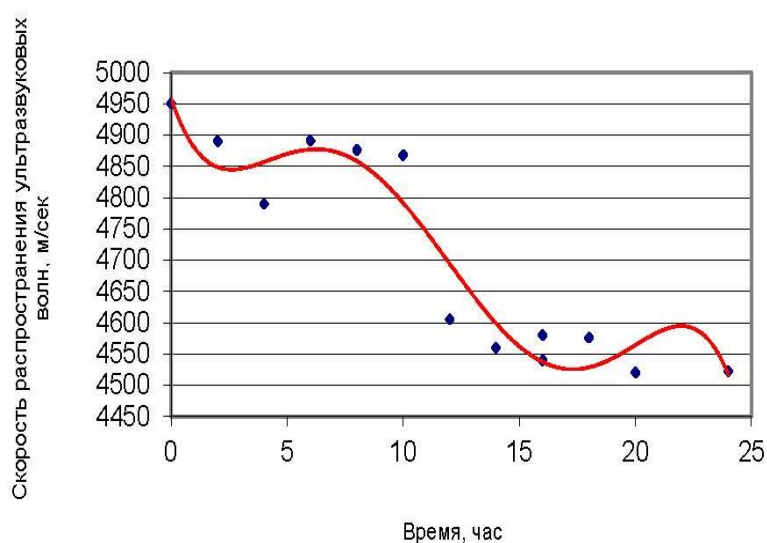


Рис. 2.1 – Изменение физико-механических свойств горных пород, извлеченных с глубины 160 м., от времени пребывания керна на дневной поверхности

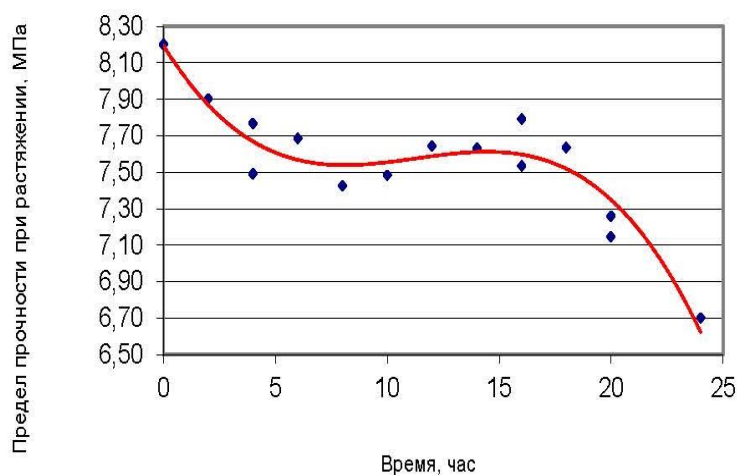


Рис. 2.2 – Изменение физико-механических свойств горных пород, извлеченных с глубины 160 м., от времени пребывания керна на дневной поверхности

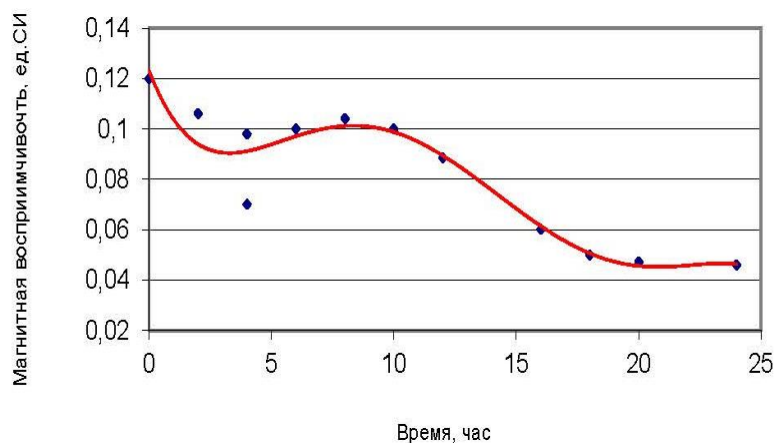


Рис. 2.3 – Изменение физико-механических свойств горных пород, извлеченных с глубины 160 м., от времени пребывания керна на дневной поверхности

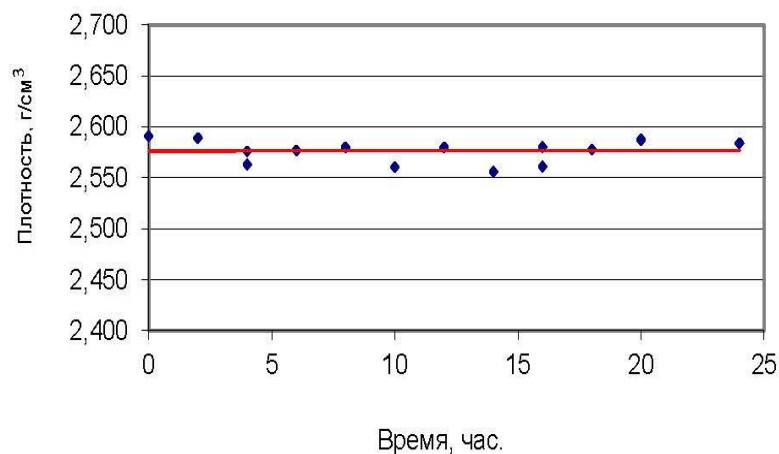


Рис. 2.4 – Изменение физико-механических свойств горных пород, извлеченных с глубины 160 м., от времени пребывания керна на дневной поверхности

В результате релаксации остаточных напряжений в образцах горных пород, извлеченных из массива, происходит перестройка внутренних структурных связей, образование трещин как внутри них, так и на поверхности, что влечет за собой изменение физико-механических свойств. Поэтому, чтобы получить достоверные данные о физико-механических свойствах горных пород необходимо максимально уменьшить время между извлечением керна из скважины и испытанием, так как скорость протекания необратимых физико-химических изменений в образцах керна зависит от литологического типа пород, глубины залегания, тектонической обстановки на месторождении.

Заключение

В результате выполненных исследований было установлено, для минимизации влияния необратимых физико-химических процессов, протекающих в керне, изучение физико-механических свойств необходимо проводить не позже 2-4 часов после поднятия керна из скважины.

Таким образом, качество и достоверность получаемых результатов в значительной мере определяется уменьшением влияния выше указанных факторов за счет предельного сокращения времени пребывания керна в атмосферных условиях. Это достигается только при экспрессном определении физико-механических свойств, т.е. непосредственно на площадках бурящихся скважин, или изучении физико-механических свойств в массиве пород, по стенкам скважины, с помощью геофизических методов.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Нгуен Ван Минь. Оценка степени влияния основных параметров на формирование зон растягивающих деформаций вокруг выработок на глубине свыше 1 км / Нгуен Ван Минь, Ч.В. Хажылылай, А.Р. Умаров и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. № 8. С. 104–113. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_104.
2. Алексеев А. Пальяновский прорыв. Новые результаты в освоении ресурсов баженовской свиты / А. Алексеев // Сибирская нефть. 2016. Т. 136. № 9. С. 38-42.
3. Галкин С.В. Учет геомеханических свойств пласта при разработке многопластовых нефтяных месторождений / С.В. Галкин, С.Н. Кривошеков, Н.Д. Козырев и др. // Записки Горного института. 2020. Т. 244. С. 408-417. DOI: 10.31897/PMI.2020.4.3.
4. Грищенко А.И. Моделирование процессов деформирования и разрушения керна при его извлечении с больших глубин / А.И. Грищенко, А.С. Семенов, Б.Е. Мельников // Записки Горного института. 2021. Т. 248. С. 243-252. DOI: 10.31897/PMI.2021.2.8.
5. Дамаскинская Е.Е. Компьютерное моделирование процесса разрушения горных пород / Е.Е. Дамаскинская, В.С. Куксенко // Вестник Дальневосточного университета. 2011. Т. 3-4. С. 8-9.
6. Лавров А.В. Акустоэмиссионный эффект памяти в горных породах / А.В. Лавров, В.Л. Шкурятник, Ю.Л. Филимонов. М.: Московский государственный гуманитарный университет, 2004. 437 с.
7. Ржевский В.В. Основы физики горных пород / В.В. Ржевский, Г.Я. Новиков. - Изд. стереотип. URSS. 2019. 368 с.
8. Панюков П.Н. Инженерная геология / П.Н. Панюков. -М.: Недра, 1978. - 295 с.
9. Угольная база России. Том V. Книга 2. Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока России (Республика Саха, Северо-Восток, о. Сахалин, п-о Камчатка). – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. – 638 с.
10. Самохвалова Л.Д. Отчет о результатах предварительной разведки угольных пластов К₄ и К₁₂ на Сыллахском месторождении и детализация участка первой очереди отработки за 1997-2001г.г / Л.Д. Самохвалова и др. в 7-ми книгах, Книга 1, п. Чульман, 2001г. - 263 с. Архив ГУП "Сахагеоинформ", г. Якутск.
11. Инструкция по оборудованию и эксплуатации полевой станции для определения физико-механических свойств горных пород (СФМП). Октябрьский: ВНИИГИС, 1998. - 33 с.
12. Михайличенко Ф.Ф. Влияние состояния образцов горных пород, извлеченных из глубины, на их физико-механические свойства / Ф.Ф. Михайличенко, И.И. Катков // Инженерная геология. - 1980. №3. С. 69 - 73.

Список литературы на английском языке/ References in English

1. Nguen Van Minh. Ocenka stepeni vlijaniya osnovnyh parametrov na formirovanie zon rastjagivajushhih deformacij vokrug vyrabotok na glubine svyshe 1 km [Effect of main rock mass parameters on initiation of tensile strain zones around openings at a depth greater than 1 km] / Nguyen Van Minh , C.V. Khazhyylai , A.R. Umarov et al. // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' [Mining Informational and Analytical Bulletin]. – 2021. – № 8. – P. 104–113. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_104. [in Russian]
2. Alekseev A. Pal'janovskij proryv. Novye rezul'taty v osvoenii resursov bazhenovskoj svity [Palyanovskiy breakthrough. New results in the Bazhenov formation resources development] / A. Alekseev // Sibirskaja neft' [Siberian oil]. – 2016. – Vol. 136. – № 9. – P. 38-42. [in Russian]
3. Galkin S.V. Uchet geomechanicheskikh svojstv plasta pri razrabotke mnogoplastovyh neftjanyh mestorozhdenij [Accounting of geomechanical layer properties in multi-layer oil-field development] / S.V. Galkin, S.N. Krivoshekov, N.D. Kozыrev et al. // Zapiski Gornogo instituta [Mining Institute Proceedings]. – 2020. – Vol. 244. – P. 408-417. DOI: 10.31897/PMI.2020.4.3.
4. Grishchenko A.I. Modelirovanie processov deformirovaniya i razrusheniya kerna pri ego izvlechenii s bol'shih glubin [Modeling the processes of deformation and destruction of the rock sample during its extraction from great depths] / A.I. Grishchenko, A.S. Semenov, B.E. Mel'nikov // Zapiski Gornogo instituta [Journal of Mining Institute]. – 2021. – Vol. 248. – P. 243-252. DOI: 10.31897/PMI.2021.2.8.
5. Damaskinskaja E.E. Komp'yuternoe modelirovanie processa razrusheniya gornyh porod [Computer modeling of fracture of rocks] / E.E. Damaskinskaja, V.S. Kuxsenko // Vestnik Dal'nevostochnogo universiteta [Bulletin of the Far Eastern University]. –2011. – Vol. 3-4. – P. 8-9. [in Russian]
6. Lavrov A.V. Akustojemissionnyj jeffekt pamjati v gornyh porodah [Acoustic emission memory effect in rocks] / A.V. Lavrov, V.L. Shkuratnik, Ju.L. Filimonov. – М.: Moskovskij gosudarstvennyj gumanitarnyj universitet, 2004. – 437 p. [in Russian]
7. Rzhhevskij V.V. Osnovy fiziki gornyh porod [Fundamentals of Rock Physics] / V.V. Rzhhevskij, G.Ja. Novikov – Edition. stereotip. URSS. 2019. – 368 p. [in Russian]
8. Panjukov P.N. Inzhenernaja geologija [Engineering Geology] / P.N. Panjukov . –М.: Nedra, 1978. – 295 p. [in Russian]

9. Ugol'naja baza Rossii. Tom V. Kniga 2. Ugol'nye bassejny i mestorozhdenija Dal'nego Vostoka Rossii (Respublika Sakha, Severo-Vostok, o. Sahalin, p-o Kamchatka) [Coal base of Russia. Volume V. Book 2. Coal basins and deposits of the Russian Far East (Republic of Sakha, North-East, Sakhalin Island, Kamchatka Peninsula)]. – M.: ZAO «Geoinformmark», 1999. – 638 p. [in Russian]

10. Samohvalova L.D. Otchet o rezul'tatah predvaritel'noj razvedki ugol'nyh plastov K_4 i K_{12} na Syllahskom mestorozhdenii i detalizacija uchastka pervoj ocheredi otrabotki za 1997-2001g.g. v 7-mi knigah, Kniga 1, p. Chul'man, 2001g [Report on K_4 and K_{12} coal seams prospecting at the Sullakh deposit and detail breakdown of the first development stage site for 1997-2001 in 7 books, Book 1, Chulman, 2001.] / L.D. Samohvalova. State Unitary Enterprise Sakhageoinform repository in Yakutsk; L.D. Samokhvalova. – 263 p. [in Russian]

11. Instrukcija po oborudovaniju i jekspluatacii polevoj stancii dlja opredelenija fiziko-mehanicheskikh svojstv gornyh porod (SFMP) [Instructions for the equipment and operation of a field station for determining the physical and mechanical properties of rocks]. – Oktjabr'skij: VNIIGIS, 1998. – 33 p. [in Russian]

12. Mihajlichenko F.F. Vlijanie sostojanija obrazcov gornyh porod, izvlechennyh iz glubiny, na ih fiziko-mehanicheskie svojstva [Influence of the state of rock samples extracted from the depth on their physical and mechanical properties] / F.F. Mihajlichenko, I.I. Katkov // Inzhenernaja geologija [Engineering Geology]. – 1980. – №3. – P. 69 - 73. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.020>**О КРАТКОСРОЧНОМ ПРОГНОЗЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ПРЕДВЕСТНИКАМ
В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ**

Научная статья

Гриб Н.Н.^{1,*}, Гриб Г.В.², Колодезников И.И.³¹ ORCID: 0000-0002-3818-9473;^{1,2} Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, Нерюнгри, Россия;^{1,3} Академия наук Республики Саха (Якутия), Якутск, Россия

* Корреспондирующий автор (grib-n-n[at]yandex.ru)

Аннотация.

Цель исследования — оценка возможности краткосрочного прогноза землетрясений по геофизическим предвестникам в конкретном регионе. Основная задача, решаемая при исследованиях — установление взаимосвязи между геодинамическими процессами в земной коре и непериодическими вариациями геофизических полей. В процессе исследований выполнен комплекс геофизических и сейсмологических исследований, который позволил выявить геофизические предвестники землетрясений, установить их взаимосвязь с сейсмической активностью и прогнозировать землетрясения. Интерпретируя предшествующие землетрясения форшоки, прогнозируются ориентировочные координаты эпицентра землетрясения, время возникновения и его энергетический класс.

Ключевые слова: геофизические предвестники, прогноз землетрясений.**ON THE SHORT-TERM FORECAST OF EARTHQUAKES BY GEOPHYSICAL PRECURSORS
IN SOUTH YAKUTIA**

Research article

Grib N.N.^{1,*}, Grib G.V.², Kolodeznikov I.I.³¹ ORCID: 0000-0002-3818-9473;^{1,2} Technical Institute (branch) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Neryungri, Russia;^{1,3} Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia

* Corresponding author (grib-n-n[at]yandex.ru)

Abstract

The aim of the study is to assess the possibility of a short-term forecast of earthquakes based on geophysical precursors in a particular region. The main task to be solved during the research is to establish the relationship between geodynamic processes in the Earth's crust and non-periodic variations of geophysical fields. In the course of the research, a complex of geophysical and seismological studies was carried out, which made it possible to identify the geophysical precursors of earthquakes, establish their relationship with seismic activity and predict earthquakes. By interpreting the foreshocks preceding earthquakes, the study predicts approximate coordinates of the earthquake epicenter, the time of occurrence and its energy class.

Keywords: geophysical precursors, earthquake forecast.**Введение**

Землетрясениями являются самыми разрушительными природными катастрофами. Землетрясение, это процесс, который готовится продолжительное время и возникает в результате медленных движений литосферных плит, приводящих к накоплению напряжений в отдельных зонах до достижения ими предела прочности горных пород. Процессы подготовки землетрясения должны сопровождаться определенными изменениями физических, химических и других свойств вещества, которые будут находить свое отражение в аномалиях полей разного рода [1].

Проблему прогноза землетрясений на научной основе стало возможно решить только тогда, когда были установлены причины возникновения землетрясений, изучены процессы разрушения в очагах и процессы, происходящие в окружающей среде перед землетрясением. Такие изменения — их называют предвестниками землетрясений, являются предметом исследования и лежат в основе разработки методик прогноза землетрясений.

Прогноз землетрясений, это вероятностная характеристика места, времени и силы сильного сейсмического события. В мировой практике различают следующие виды прогноза: долгосрочный (с вероятностью до 90%), среднесрочный (с вероятностью реализации 70-80%), краткосрочный и оперативный (с небольшой вероятностью реализации) [1], [2], [3], [4]. Проблема краткосрочного прогноза является весьма сложной и достоверность прогноза сейсмических событий до сих пор не высока.

В настоящее при активном развитии цифровых технологий и разработки новой цифровой геофизической аппаратуры разрабатываются и новые прогностические технологии, позволяющие повысить достоверность краткосрочного прогноза [5], [7], [9].

В данной работе мы рассмотрим подходы к краткосрочному прогнозу землетрясений по геофизическим предвестникам в Южной Якутии.

Экспериментальные исследования

Природа сейсмичности Южной Якутии связана с геодинамическими процессами, протекающими на стыке Евразийской и Амурской литосферных плит и приурочена к Олёкмо-Становой зоне [10], [11].

Пространственное распределение эпицентров землетрясений по площади исследований неравномерно. Самым активным на исследуемой территории является западный фланг Олекмо-Становой сейсмической зоны. На территории

центральной части и юго-восточного фланга выделяется три крупных участка концентрации эпицентров землетрясений: в центре Алданского нагорья, рядом с озером Большое Токо и в среднем течении р. Учур. В течение года на площади Олекмо–Становой сейсмической зоны происходит более 500 землетрясений с энергетическим классом $K > 8$ [12]. Поэтому, в связи с интенсивным промышленно-экономическим развитием территории Южной Якутии, проблемы изучения сейсмичности региона с целью выявления особенностей проявления землетрясений и оценки степени их потенциальной сейсмической опасности, а также, проведения геофизических исследований для прогнозирования сейсмической опасности, стоят весьма остро.

Исследования, по изучению неперiodических вариаций геофизических полей в сейсмически активной зоне Станового шва, проводились проблемной научно – исследовательской лабораторией Якутского государственного университета в течение 15 лет, с 1980 по 1995 годы. В результате исследований установлено наличие неперiodических вариаций геофизических параметров: магнитного и гравитационного полей, импульсного естественного электромагнитного поля (ИЕЭМП) [13]. По результатам выполнения данных научно – исследовательских работ была сформулирована методология подхода в организации долговременных мониторинговых наблюдений за вариациями геофизических полей с целью поиска предвестников землетрясений, разработана методика проведения высокоточного геофизического эксперимента для условий Олекма-Становой сейсмической зоны [14], [15].

На основании вышеупомянутых исследований был принят минимально достаточный комплекс геофизических предвестников землетрясений, включающий в себя: сейсмологические, гравиметрические, барометрические, магнитометрические и электромагнитные наблюдения.

Начиная с 2000 г. и по настоящее время, на базе Технического института (филиала) Северо-Восточного федерального университета в г. Нерюнгри, функционирует научно-исследовательская лаборатория «Мониторинга и прогноза сейсмических событий», с помощью которой выполняются регулярные наблюдения с использованием цифровой геофизической аппаратуры и современного программного обеспечения.

Для прогнозирования землетрясений представляют интерес не только результаты мониторинговых геофизических наблюдений, но и оценка потенциальной энергии землетрясения, его магнитуды и интенсивности, а также, радиуса влияния готовящегося сейсмособытия на геофизические поля.

Существует несколько способов проведения таких оценок: по изостатическим аномалиям силы тяжести, по величине сейсмических пятен и закону повторяемости землетрясений. В основе современных теоретических моделей подготовки землетрясения лежат представления о землетрясении, как о заключительной стадии длительного процесса разгрузки среды. Основными физическими моделями, подготовки тектонических землетрясений претендующими на объяснение природы бухтообразного изменения геофизических полей являются: модель лавинно-неустойчивого трещинообразования, дилатантно-диффузионная и консолидационная модели [16], [17], [18].

В Южной Якутии геодинамические процессы развиваются по промежуточной модели, очень близкой к модели внутреннего разрушения, предполагающей миграцию флюидов как в области подготовки очага землетрясения, так и за его пределами. Миграция флюидов приводит к изменению физических свойств массива горных пород: плотностных, удельного электрического сопротивления, магнитных свойств. Это способствует появлению аномалий в геофизических полях, что и положено нами в основу методики прогноза сейсмической опасности на территории Южной Якутии [17].

Следует отметить, что при выделении сейсмоопасных зон по комплексу геофизических признаков необходимо учитывать следующие предпосылки: в разных геотектонических условиях только совокупность разнородных геолого-геофизических признаков может достоверно выявить сейсмогенные структуры; для разных регионов (а в пределах региона для разных зон) характерен набор параметров; данная совокупность параметров информативна на сейсмичность только в пределах тектонически и геофизически однородной области; информативность каждого параметра даже в пределах одного региона является переменной величиной, и для решения задач краткосрочного прогноза сейсмической опасности конкретного района необходимо учитывать его геолого-геофизические особенности. Поэтому технологическая схема, используемой методики, включает в себя анализ: геологического строения и сейсмичности района, геодинамических процессов, графиков повторяемости землетрясений, реакции геофизических полей на геодинамические процессы, анализ мониторинговых данных, учет маскирующих факторов, получение прогнозной геофизической информации.

Мониторинговые наблюдения за сейсмическим режимом и вариациями геофизических полей в регионе, на базе лаборатории, расположенной в г. Нерюнгри, позволяют выявить геофизические предвестники землетрясений, установить их взаимосвязь с геодинамической активностью и прогнозировать землетрясения. Рассмотрим результаты исследований на примере землетрясения произошедшего в Южно-Якутском регионе 5 мая 2019 г., с энергетическим классом 12,7 (рис. 1-4).

Результаты и обсуждения

На рисунке 1 приведен график изменения полного вектора (Т) геомагнитного поля Земли, за период с 29.04.2019 г. по 13.05.2019 г. и землетрясения, произошедшие в этот период. Из графика следует, что перед сейсмическим событием 05.05.2019 г. произошли аномальные изменения полного вектора (Т) геомагнитного поля, связанных с динамикой упругих напряжений в литосфере. За двое суток перед землетрясением энергетического класса 12,7 магнитное поле увеличилось на 200 нТл, а затем, после землетрясения, уменьшилось на 350 нТл. Отсюда следует, что за двое суток, предшествующих землетрясению, происходит аномальное изменение геомагнитного поля Земли, что является предвестником землетрясения.

На рисунках 2 и 3 показано изменение гравитационного поля и атмосферного давления перед землетрясением 05.05.2019 г. Характер изменения гравитационного поля и атмосферного давления аналогичны. За двое суток до землетрясения произошли аномальные уменьшения силы тяжести на 0,4 мГала, а затем после землетрясения увеличилось 0,7 мГала.

Причиной аномального изменения силы тяжести может служить как изменение напряженно-деформированного состояния земной коры, в очаге формирования сейсмособытия, так и миграция поровой воды вследствие перераспределения тектонических напряжений. По этой причине наблюдается и аномальное увеличение силы тяжести после землетрясения.

Атмосферное давление снизилось на 10 мм рт. ст., а затем после землетрясения увеличилось на 12 мм рт. ст.

По данным экспериментальных исследований нами установлен эффект проявления изменения атмосферного давления в очагах формирования сейсмособытий. По нашему мнению, это связано с геодинамическими процессами формирующегося очага землетрясения и приводящими к изменению напряженно-деформированного состояния земной коры. Это, в свою очередь, вызывает миграцию флюидов, появление наведенных магнитотеллурических токов, которые находят свое отражение в изменении барического поля, т.е. процессы в геологической среде воздействуют на метеорологические параметры.

Следует заметить, что проявление изменения атмосферного давления отмечено и в других сейсмоактивных регионах страны [7]. Волейшо В.О. показал связь импульсного электромагнитного поля Земли и атмосферного давления над очагом землетрясения. Им отмечено, «...генетическая связь магнитного поля и атмосферного давления» [7, С. 95].

На рисунке 4 приведены вариации естественного импульсного электромагнитного поля, связанные с механоэлектрическими преобразованиями энергии в земной коре. Импульсы возникают на границах блоковой земной коры, структурных неоднородностей, в результате непрерывного геодинамического движения тектонических блоков. На заключительных стадиях подготовки землетрясения, в зоне подготовки происходит нарушение естественных ритмов движения земной коры, что отражается в аномальных изменениях ЕИЭМП. Землетрясение происходит в период этих нарушений или не позднее 2-3 суток после их завершения. Аномальные изменения ЕИЭМП, в период с 01.05.2019 г. по 05.05.2019 года, предшествовали землетрясению, произошедшему 5 мая 2019 г., соответствующее энергетическому классу 12,7. То есть, аномальное изменение импульсного электромагнитного поля Земли, является предвестником землетрясений и может использоваться как индикатор сейсмической опасности.

Проводя пространственно-временной анализ аномальных изменений геофизических полей в относительно короткий период времени (7-10 суток) и комплексную интерпретацию регистрируемых геофизических предвестников прогнозируется ориентировочное время и класс землетрясений.

Подробно комплексная интерпретация предвестников землетрясений и прогноз параметров сейсмособытий рассмотрена в работе [19].

Так как землетрясениям, как правило, предшествуют форшоки, (рис. 5), то с помощью обработки данных сейсмологических наблюдений, в прикладной программе WSG, прогнозируется местоположение ожидаемого сейсмического события по форшокам. Прогнозные параметры рассматриваемого землетрясения: дата 5.05.2019 г.; координаты: широта 57.7, долгота 120.45; энергетический класс (К) 12.0.

Спрогнозированное землетрясение, по геофизическим предвестникам, произошло 2019-05-05 19:31:43; координаты: широта 57.42, долгота 120.78; К 12.7.

Сопоставив прогнозные и фактические параметры землетрясения, можно сделать вывод, что расхождения незначительные и вполне приемлемы для прогноза сейсмической опасности в Южно-Якутском регионе.

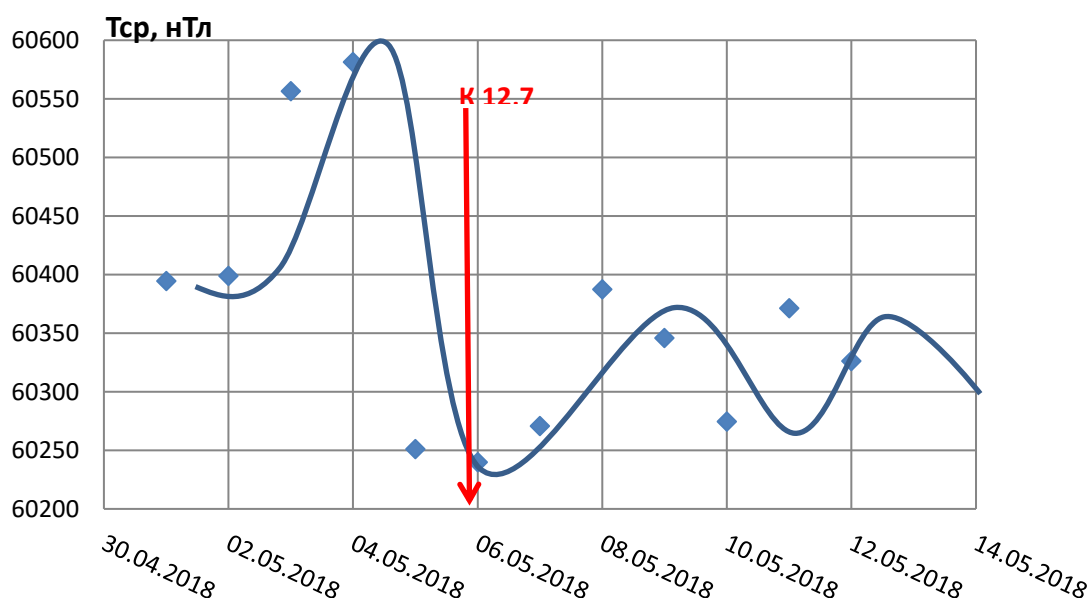


Рис. 1 – Аномальные изменения геомагнитного поля, связанные с геодинамическими процессами в земной коре, в период формирования и реализации сейсмособытия 2019-05-05

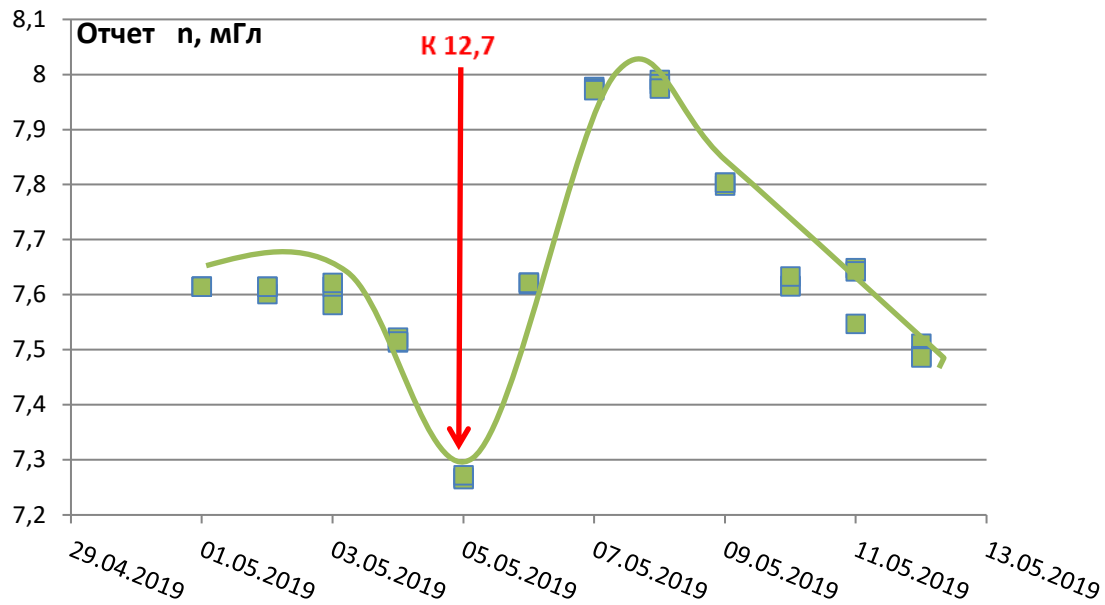


Рис. 2 – Аномальные изменения ускорения силы тяжести, связанные с геодинамическими процессами в земной коре, в период формирования и реализации сейсмического события 2019-05-05

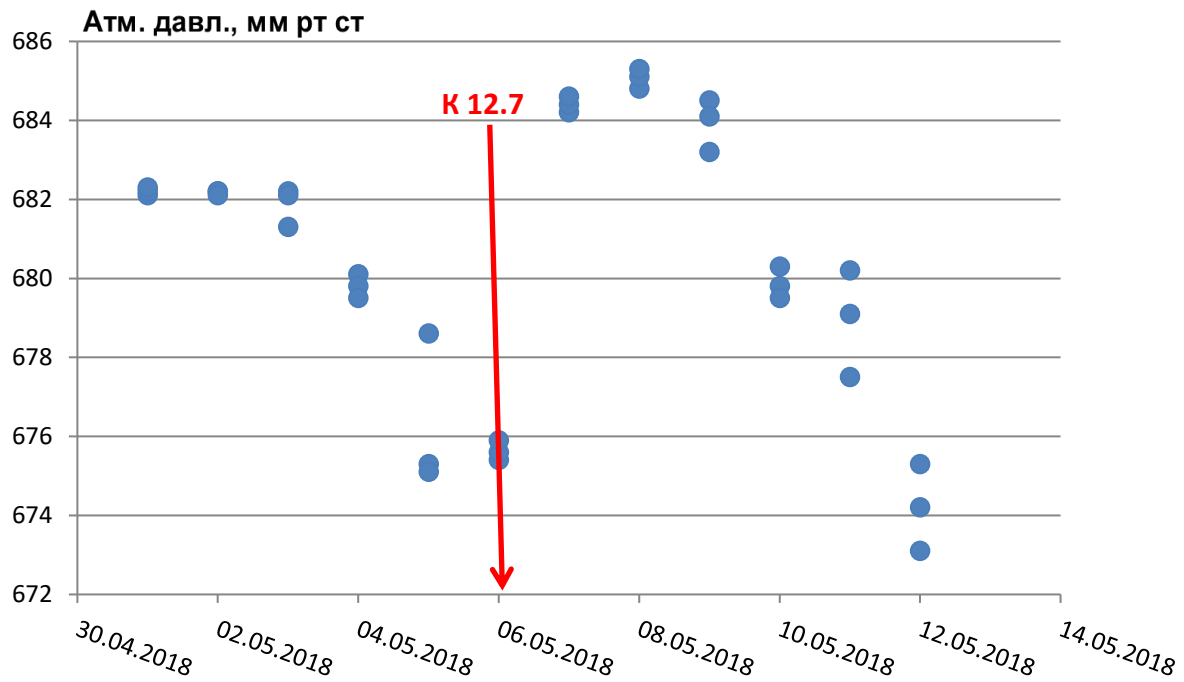


Рис. 3 – Изменение атмосферного давления, связанного с геодинамическими процессами в земной коре в период формирования и реализации сейсмического события 2019-05-05:
магнитная составляющая: красная – З-В, синяя – С-Ю

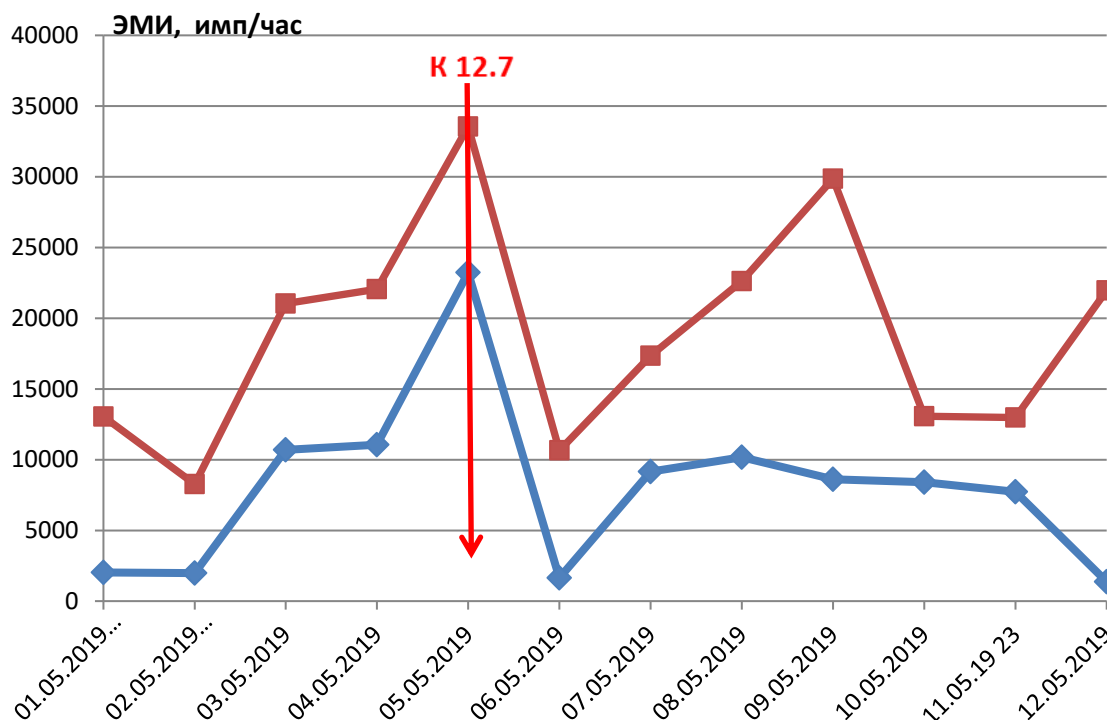


Рис. 4 – Изменение ИЭМП, связанного с геодинамическими процессами в земной коре в период формирования и реализации сейсмособытия 2019-05-05: магнитная составляющая: красная – 3-В, синяя – С-Ю

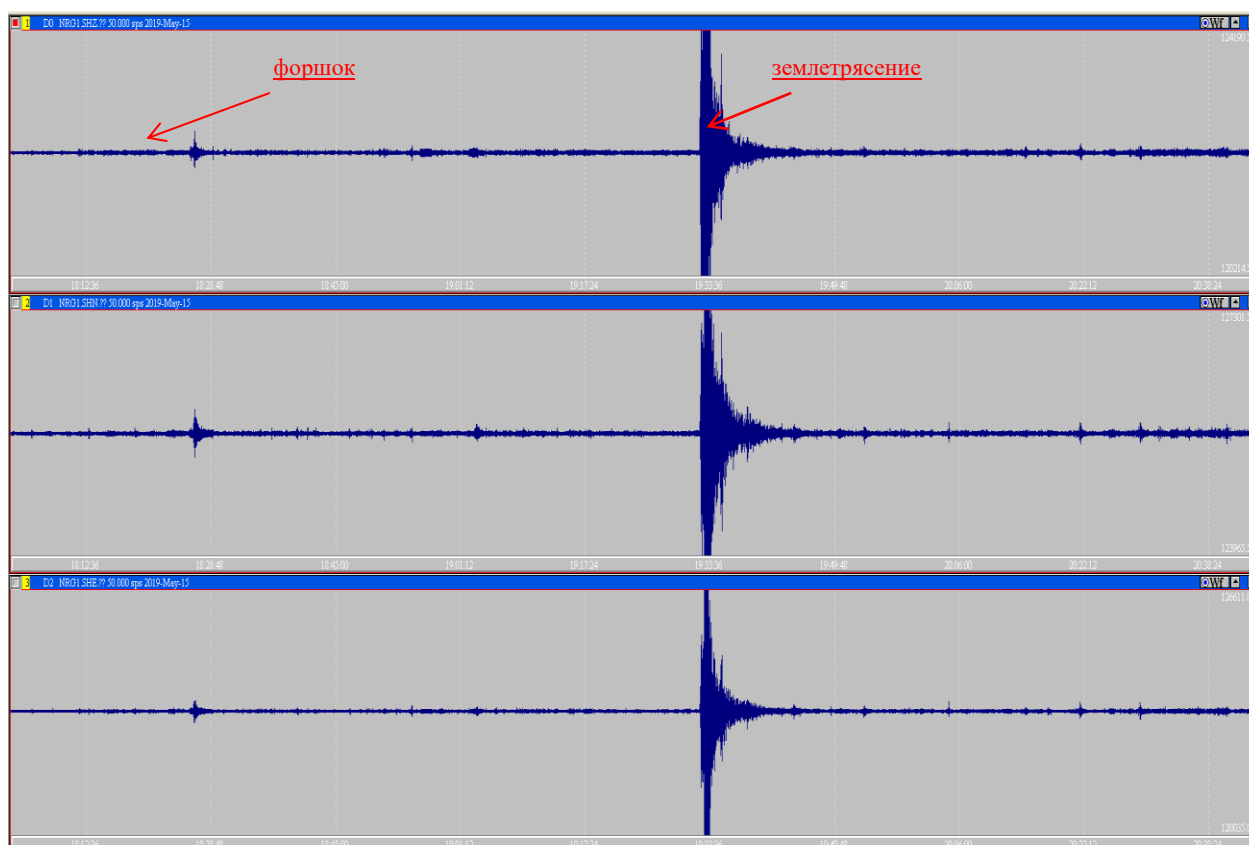


Рис. 5 – Волновые формы форшока и землетрясения 05.05.2019 г.

Заключение

Таким образом, выполняя мониторинг предвестников землетрясений, анализируя мониторинговые геолого-геофизические и сейсмологические данные, учитывая маскирующие факторы, и проводя совместную интерпретацию наблюдаемых аномальных вариаций геофизических и результатов сейсмологических наблюдений, предшествующих землетрясениям форшоков, прогнозируются ориентировочные координаты эпицентра сейсмособытия, время возникновения и его энергетический класс.

Совместное использование результатов геофизического мониторинга предвестников землетрясений и данных сейсмологических исследований дает наиболее устойчивое определение степени сейсмической опасности исследуемого региона.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Касахара К. Механизм землетрясений / К. Касахара. – М.: Мир, 1988. – 262 с.
2. Моги К. Предсказание землетрясений / Л. Моги. – М.: Мир, 1988. – 382 с.
3. Рикитакэ Т. Предсказание землетрясений / Т. Рикитакэ. – М.: Мир, 1979. – 388 с.
4. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений / Г.А. Соболев. – М.: Наука, 1993. – 313 с.
5. Копылова Г.Н. Разработка элементов информационной системы комплексных геофизических наблюдений на территории Камчатки / Г.Н. Копылова, В.Ю. Иванов, В.А. Касимова // Российский журнал наук о Земле. – 2009. – Т. 11. – RE2002. DOI:10.2205/2009ES000329.
6. Акопян С.Ц. Технология мониторинга и прогнозирования сильных землетрясений на территории России с использованием метода сейсмической энтропии / С.Ц. Акопян, В.Г. Бондур, Е.А. Рогожин // Физика Земли. – 2017. – № 1. – С. 34–53. DOI: 10.7868/S0002333717010021.
7. Волейшо В.О. Краткосрочный прогноз землетрясения / В.О. Волейшо // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 1. – С. 92–99. DOI: 10.35540/2686-7907.2021.1.06
8. Копылова Г.Н. Новая прогностическая технология анализа вариаций низкочастотного сейсмического шума (на примере районов Дальнего Востока России) / Г.Н. Копылова, А.А. Любушин, Л.Н. Таранова // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 1. – С. 75–91. DOI: 10.35540/2686-7907.2021.1.05
9. Кашковский В.В. Применение системного подхода для разработки методов прогноза землетрясений / В.В. Кашковский, Р.М. Семенов, М.Н. Лопатин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – № 2 (54) 2017. – С. 95 – 103.
10. Имаев В. С. Сейсмостектоника Якутии / В. С. Имаев, Л. П. Имаева, Б. М. Козьмин. – М.: ГЕОС. -2000.- 226с.
11. Имаев В.С. Тектонические критерии сейсмичности Южной Якутии / В.С. Имаев. – М.: Наука, 1986. – 127 с.
12. Имаева Л.П. Сейсмическая опасность и современная геодинамика Токинского Становика / Л.П. Имаева, В.С. Имаев, Б.М. Козьмин и др. - Нерюнгри: Издательство Технического института (ф) ЯГУ, 2009. – 157 с.
13. Штех Г.И. Прогноз землетрясений / Г.И. Штех, С.В. Трофименко. – Якутск. Из-во: ЯГУ. 1982. – 95с.
14. Статива А.С. Проведение режимных исследований геофизических полей в Олекминской эпицентральной зоне / А.С. Статива, С.В. Трофименко. – Якутск. Из-во: ЯГУ, 1991. – 218с.
15. Гриб Н. Н. Возможности прогноза землетрясений по результатам геофизических исследований в Южной Якутии в период Южно-Якутского землетрясения 1989 г. / Н. Н. Гриб, С.В. Трофименко // Пятые геофизические чтения имени В. В. Федынского. – М.: ГЕОС, 2003. – С. 67–68.
16. Scholz C. H. Earthquake prediction: a physical basis / C. H. Scholz, L. R. Sykes, Y. P. Aggarwal // Science. – 1973. – Vol. 181. – pp. 803–810.
17. Трофименко С.В. Анализ геофизических полей в период до и после Южноякутского землетрясения в 1989 г.: Дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 25.00.10 / Трофименко Сергей Владимирович. – Хабаровск, 2003. – 107 с.
18. Научно-исследовательская лаборатория «Мониторинга и прогноза сейсмических событий» при Техническом институте (филиале) СВФУ в г. Нерюнгри. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.s-vfu.ru/universitet/nauka/nauchnye-instituty-i-tsentry/scientific-research-laboratory-monitoring-and-forecast-of-seismic-events-at-the-technical-institute/> (дата обращения: 12.06.2021)
19. Терещенко М.В. Динамика сейсмического режима и геофизических полей в Южно-Якутском регионе / М.В. Терещенко, Н.Н. Гриб // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 9 – стр. 145-149.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kasahara K. Mechanism earthquakes [Earthquake mechanics] / K. Kasahara. – M.: Mir, 1988. – 262 p. [in Russian]
2. Mogi K. Prediction earthquakes [Earthquake prediction] / K. Mogi. – M.: Mir, 1988. – 382 p. [in Russian]
3. Rikitake T. Prediction earthquakes [Earthquake prediction] / T. Rikitake. – M.: Mir, 1979. – 388 p. [in Russian]
4. Sobolev G.A. Basics of earthquake analysis [Earthquake analysis basics] / G.A. Sobolev. – M.: Nauka, 1993. – 313 p. [in Russian]
5. Kopylova G.N. Development of information system elements for interpreting integrated geophysical observations in Kamchatka [The implementation of information system elements for interpreting integrated geophysical observations in Kamchatka] / G.N. Kopylova, V.Ju. Ivanov, V.A. Kasimova // Rossijskij zhurnal nauk o Zemle [Russian Journal of Earth Sciences]. – 2009. – Vol. 11. – RE2002. DOI: 10.2205/2009ES000329. [in Russian]
6. Akopjan S.C. Technology for monitoring and forecasting strong earthquakes in Russia with the use of the seismic entropy method [Technology for monitoring and forecasting strong earthquakes in Russia with the use of the seismic entropy method] / S.C. Akopjan, V.G. Bondur, E.A. Rogozhin // Fizika Zemli [Physics of the Earth] – 2017. – № 1. – P. 34–53. DOI: 10.7868/S0002333717010021. [in Russian]
7. Volejsho V.O. Short-term earthquake forecast [Short-term earthquake forecast] / V.O. Volejsho // Rossijskij sejsmologicheskij zhurnal [Russian journal of seismology]. – 2021. – Vol. 3, № 1. – p. 92–99. DOI: 10.35540/2686-7907.2021.1.06 [in Russian]
8. Kopylova G.N. New prognostic technology for analysis of low frequency seismic noise variations (on the example of the Far Eastern Federal District of Russia) [New prognostic technology for analysis of low frequency seismic noise variations (on the example of the Far Eastern Federal District of Russia)] / G.N. Kopylova, A.A. Lyubushin, L.N. Taranova // Rossijskij sejsmologicheskij zhurnal [Russian journal of seismology]. – 2021. – Vol. 3, № 1. – p. 75–91. DOI: 10.35540/2686-7907.2021.1.05

- (on the example of the Russian Far East)] / G.N. Kopylova, A.A. Lyubushin, L.N. Taranova // Rossijskij seismologicheskij zhurnal [Russian Journal of Seismology]. – 2021. – Vol. 3, № 1. – p. 75–91. DOI: 10.35540/2686-7907.2021.1.05 [in Russian]
9. Kashkovskij V.V. Primenenie sistemnogo podhoda dlja razrabotki metodov prognoza zemletrjassenij [A systematic approach for developing methods of earthquake prediction] / V.V. Kashkovskij, R.M. Semenov, M.N. Lopatin // Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie [Modern technologies. System analysis. Modeling] – № 2 (54) 2017. – p. 95 – 103. [in Russian]
10. Imaev V. S. Sejsmotektonika Jakutii [Seismotectonics of Yakutia] / V. S. Imaev, L. P. Imaeva, B. M. Koz'min. – M.: GEOS. – 2000. – 226 p. [in Russian]
11. Imaev V.S. Tektonicheskie kriterii sejsmichnosti Juzhnoj Jakutii [Tectonic criteria of seismicity of Southern Yakutia] / V.S. Imaev. – M.: Nauka, 1986. – 127 p. [in Russian]
12. Imaeva L.P. Sejsmicheskaja opasnost' i sovremennaja geodinamika Tokinskogo Stanovika [Seismic hazard and modern geodynamics of Tokinskiy Stanovic] / L.P. Imaeva, V.S. Imaev, B.M. Koz'min et al. – Neryungri: Publishing House of the Technical Institute (branch) YSU, 2009. – 157 p. [in Russian]
13. Shteh G.I. Prognoz zemletrjassenij [Earthquake prediction] / G.I. Shteh, S.V. Trofimenko. – Yakutsk. SYU Publishing House, 1982. – 95p. [in Russian]
14. Stativa A.S. Provedenie rezhimnyh issledovanij geofizicheskikh polej v Olekminskoj jepicentral'noj zone [Carrying out regime studies of geophysical fields in the Olekminskaya epicentral area] / A.S. Stativa, S.V. Trofimenko. – Yakutsk. SYU Publishing House, 1991. – 218 p. [in Russian]
15. Grib N. N. Vozmozhnosti prognoza zemletrjassenij po rezul'tatam geofizicheskikh issledovanij v Juzhnoj Jakutii v period Juzhno-Jakutskogo zemletrjassenija 1989 g. [The possibility of earthquake prediction based on the results of geophysical explorations in South Yakutia during the South Yakutia earthquake 1989] / N. N. Grib, S.V. Trofimenko // Pjatye geofizicheskie chtenija imeni V. V. Fedynskogo [Fifth Geophysical Conference named after V.V. Fedynsky]. – M.: GEOS, 2003. – p. – 67-68. [in Russian]
16. Scholz C. H. Earthquake prediction: a physical basis / C. H. Scholz, L. R. Sykes, Y. P. Aggarwal // Science. – 1973. – Vol. 181. – pp. 803–810.
17. Trofimenko S.V. Analiz geofizicheskikh polej v period do i posle Juzhnoj Jakutskogo zemletrjassenija v 1989 g. [Analysis of geophysical fields in the period before and after the South Yakutia earthquake in 1989] : Dis. ... of PhD in Geology and Mineralogy : 25.00.10 / Trofimenko Sergej Vladimirovich. – Khabarovsk, 2003. – 107 p. [in Russian]
18. Nauchno-issledovatel'skaja laboratorija «Monitoringa i prognoza sejsmicheskikh sobytij» pri Tehnicheskom institute (filiale) SVFU v g. Neryungri [Research Laboratory of "Monitoring and forecasting of seismic events" at the Technical Institute (branch) NEFU in Neryungri]. [Electronic resource]. URL: <https://www.s-vfu.ru/universitet/nauka/nauchnye-instituty-i-tsentry/scientific-research-laboratory-monitoring-and-forecast-of-seismic-events-at-the-technical-institute/> (accessed: 12.06.2021) [in Russian]
19. Tereshhenko M.V. Dinamika sejsmicheskogo rezhima i geofizicheskikh polej v JuzhnoJakutskom regione [The dynamics of the seismic regime and geophysical fields in the South-Yakutia region] / M. V. Tereshchenko, N. N. Grib // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij [International Journal of Applied and Fundamental Research]. – 2014. – № 9 – pp. 145–149. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.021>**ВЕЙВЛЕТ АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНЕГО СМЕЩЕНИЯ СЕВЕРНОГО ПОЛЮСА ЗЕМЛИ**

Научная статья

Курбасова Г.С.^{1,*}, Рыхлова Л.В.²¹ Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Крым, Россия;² Институт астрономии РАН, Москва, Россия

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

Аннотация

В настоящей работе используются данные ЕОП (IERS) C 01 — это серия параметров ориентации Земли, заданных с интервалом 0,1 год за период (1846 - 1889) и 0,05 года на интервале с 1890 года по настоящее время. В условиях недостаточной наблюдательной информации в прошлом, анализ долговременных серий координат полюса основан на широком использовании модельных представлений о реальном его смещении, учитывающих свойственные вращению Земли внутренние связи.

Целью настоящей работы является анализ неоднородных серий координат полюса ЕОП (IERS) C 01 с помощью сравнительно нового математического аппарата вейвлетов. Этим методом для данных за период с 1846 по настоящее время получены пространственно-временная спектральная структура и долговременный тренд.

Разложив временные ряды на частотно-временное пространство, нами определены как доминирующие колебания с периодами 85.5 ± 0.5 , 56 ± 0.5 , ~ 33 и ~ 21 год, так и то, как эти колебания меняются во времени.

Ключевые слова: полюс, системы координат, вейвлет, масштаб, долговременный тренд.

WAVELET ANALYSIS OF THE LONG-TERM DISPLACEMENT OF THE EARTH'S NORTH POLE

Research article

Kurbasova G.S.^{1,*}, Rykhlova L.V.²¹ Crimean Astrophysical Observatory, Crimea, Russia;² Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

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

Abstract

The current article uses the EOP (IERS) C 01, which is a series of Earth orientation parameters set at an interval of 0.1 years for the period from 1846 to 1889 and 0.05 years for the interval from 1890 to the present. In the conditions of insufficient observational data in the past, the analysis of long-term series of pole coordinates is based on the extensive use of model representations of its real displacement, taking into account the internal connections inherent in the rotation of the Earth.

The purpose of this study is to analyze the inhomogeneous series of coordinates of EOP (IERS) C 01 using a relatively new mathematical apparatus of wavelets. Using this method, a spatiotemporal spectral structure and a long-term trend are obtained for the data for the period from 1846 to the present.

Decomposing the time series into the time-frequency space, the article determines both the dominant fluctuations with periods of 85.5 ± 0.5 , 56 ± 0.5 , ~ 33 and ~ 21 years, and how these fluctuations change over time.

Keywords: pole, coordinate systems, wavelet, scale, long-term trend.

Развитие методов измерений, уточнение моделей природных процессов на основе высокоточных наблюдений изменили концепции системы Земли.

В прошлом наблюдения за вращением Земли относительно звезд проводились астрономическими методами на соответствующем астрономическом оборудовании. В настоящее время, вместо использования вращения Земли и движения Луны/планет для определения и реализации времени, в частности Всемирного Времени (Universal Time, UT), можно изучать вращение Земли и движение планет как функцию атомного времени или Универсального скоординированного времени (Coordinated Universal Time, UTC), которое сегодня получено однозначно из атомного времени. Этот аспект имеет особое значение для проблем, связанных с изучением и мониторингом вращения Земли.

В современной науке о Космосе существует большое число проблем связанных с пониманием явлений, с подтверждением различных гипотез о структуре и эволюции небесных тел, их объединении в скопления или связанных с реальными физическими законами во Вселенной. В основе изучения этих проблем лежат реальные наблюдения. При этом достоверность информации о наблюдаемых небесных объектах зависит от точности определения координат в соответствующей системе отсчёта.

Для материализации надежной и доступной системы отсчета необходимо построить систему координат, которая должна реализовываться во времени на высокоточной информации о параметрах ориентации Земли (ПОЗ). Знание параметров вращения Земли даёт нам основу для определения координат точек на земной поверхности: положение оси вращения Земли определяет систему широт и долгот. Кроме того, период вращения Земли даёт естественную единицу и естественный стандарт времени.

Параметры ориентации Земли постоянно изменяются. Так, ось вращения Земли не сохраняет своего положения ни в пространстве, ни по отношению к телу Земли. Первое явление, объясняемое прецессией и нутацией земной оси, известно давно и в настоящее время хорошо изучено [1], [2], [3]. Колебание полюсов, смещающих положение оси вращения относительно самой Земли, не смотря на большое практическое значение, изучено недостаточно. Вследствие колебания полюсов широты всех точек земной поверхности периодически изменяются на несколько сотых долей секунды дуги, что в линейной мере соответствует двум-трём десяткам метров. Кроме того, в настоящее время в ряде работ обсуждается возможность векового движения полюса [4], что могло бы повлиять на распределение климатических зон Земли. Ещё более серьёзные последствия вызывает недостаточно изученная неравномерность

вращения Земли, которая проявляется в вековом замедлении вращения (сутки увеличиваются, примерно, на 0,015 сек в столетие). Наблюдаются небольшие сезонные изменения скорости вращения Земли: максимальные в августе, медленные в марте и доходящие до 0.034 сек. неправильные скачкообразные изменения [5].

Движение Северного полюса Земли

В первые годы деятельности Международной службы широты (МСШ) движение полюса определялось по непрерывным рядам наблюдений широты на станциях Мицузава (Япония), Китаб (Узбекистан), Карлофорте (Италия), Юкайя и Гейтерсберг (США), расположенных на «международной» параллели 39 с. Международным условным началом (МУН). Реальное положение МУН задавалось назначением широт станций МСШ.

Международная служба вращения Земли (The International Earth Rotation and Reference Systems Service, IERS) [6] была основана в 1987 году Международным астрономическим союзом и Международным союзом геодезии и геофизики. Она начала функционировать с 1 января 1988 года и заменила Международную службу по движению полюса (IPMS) и секцию вращения Земли Бюро Международного времени (ВИН); деятельность ВИН в настоящее время продолжается в Бюро Международного времени (International des Poids et Mesures, BIPM) [7], [8].

В основные задачи IERS входит обслуживание астрономических, геодезических и геофизических сообществ.

Более полные сведения о долговременных и периодических изменениях положения Северного полюса можно получить из публикаций в разделе анализа наблюдений IERS [6].

Непредсказуемые воздействия экзогенных и эндогенных факторов на кинематику и динамику Земли создают необходимость постоянной поддержки модели движения её полюса с помощью наблюдений. Поскольку неравномерности вращения Земли вызваны движением гидросферы и атмосферы, ни одна детерминированная модель не может описать их с точностью, сопоставимой с точностью наблюдений. Вращение Земли постоянно контролируется наблюдениями космической геодезии.

Анализ спектральной структуры данных о долговременном смещении Северного полюса по поверхности Земли, выявление физической информации о закономерностях этого движения необходимы для установления точной системы отсчёта, долговременных закономерных геофизических и солнечных связей в системе Земля.

Исходные данные

Центр ориентации Земли, расположенный в Парижской обсерватории, публикует в настоящее время два основных временных ряда координат смещения полюса по поверхности Земли: долгосрочное решение (IERSC01) с 1846 года до конца предыдущего года и бюллетень В / C04, выпускаемый с однодневными интервалами, который публикуется ежемесячно с 30-дневной задержкой [13].

В настоящей работе используются данные ЕОР (IERS) C 01 — это серия параметров ориентации земли, заданных с интервалом 0,1 год за период (1846 - 1889) и 0,05 года на интервале с 1890 года по настоящее время. Эта серия является основой системы долгосрочных исследований IERS, обновляемой регулярно один раз в месяц. Комбинированный временной ряд основан на следующих данных:

- 1846 - 1899: решение, полученное Л.В. Рихловой из трех серий программ абсолютного склонения в Пулково, Гринвиче, Вашингтоне [14].
- 1900-1961: Решение Вондрака и др. (1995), полученное с помощью серий оптической астрометрии [15].
- 1962 – по настоящее время: в результате следующих астрометрических измерений:
- 1993 - н.в.: космическая техника VLBI, LLR, SLR и GNSS.
- 1989 - 1992: космическая техника VLBI, LLR, SLR
- 1962 - 1979: оптическая астрометрия (решения ВИН); космическая техника, начиная с 1969 года (LLR, UT) и с 1972 г. – Доплер, движение полюса.

В настоящее время проведено полное обновление данных по C01 за период 1900–1906 гг. Обновлённые координаты полюса лучше согласуются с данными условного международного начала (CIO). Прежняя версия представляла ложный сдвиг в интервале 1900-1962 гг. [16]. Более подробную информацию об этапах решения проблемы стыковки различных серий данных в долговременных временных рядах параметров смещения Северного полюса можно найти в публикациях IERS [6].

О методе вейвлет анализа

Долговременные серии координат движения полюса Земли получены из неравнооточных серий наблюдений на конечных интервалах времени. Поэтому возникает задача достоверности пространственно временного представления этих данных.

В последние десятилетия современные методы спектрального анализа дополняет вейвлет анализ. Вейвлет обработка цифровых сигналов и изображений сформировались в целое научное направление [17], [18], [19], [20]. Идеи теории вейвлетов возникли, когда появилось достаточное количество рядов экспериментальных данных, обработка которых стандартным и хорошо развитым методом преобразования Фурье показала его ограниченность для поиска закономерностей в них [21]. Метод вейвлет преобразования применяется в настоящее время для анализа локализованных изменений мощности во временном ряду. Разложив временной ряд на частотно-временное пространство, можно определить как доминирующие режимы изменчивости, так и то, как эти режимы меняются во времени.

«Вейвлет преобразование одномерного сигнала состоит в его разложении по базису, сконструированному из обладающей определёнными свойствами функции (вейвлета) посредством масштабных изменений и переносов. Каждая из функций этого базиса характеризует как определённую (временную) частоту, так и её локализацию в физическом пространстве» [17, С. 1145].

Существует два подхода к анализу нестационарных временных рядов, какими являются анализируемые в настоящей работе серии данных. Первый, оконное преобразование Фурье (Windowed Fourier transform, WFT), основан на локальном преобразовании Фурье (short-time Fourier transform) [20], [22].

Оконное преобразование Фурье представляет собой неточный и неэффективный метод частотно-временной локализации. Неточность возникает из-за наложения спектров высокочастотных и низкочастотных компонентов, которые не попадают в частотный диапазон окна. Неэффективность возникает из-за частот, которые необходимо анализировать на каждом временном шаге, независимо от размера окна или присутствующих доминирующих частот.

Второй подход заключается в использовании вейвлет преобразования. Вейвлеты непосредственно связаны с многомасштабным анализом и обработкой сигналов различной природы. Вейвлет анализ при каждом масштабе позволяет увидеть те особенности сигнала, которые характерны для данного масштаба, эффективно отфильтровывая влияние других масштабов.

Вейвлет преобразование можно использовать для анализа временных рядов, содержащих нестационарную мощность на многих разных частотах. Предположим, что имеется временной ряд x_n с одинаковым интервалом отсчёта времени δt и $n = 1, \dots, N-1$. Предположим также, что имеется волновая функция $\psi_o(\eta)$, которая зависит от безразмерного параметра времени η . Чтобы быть «допустимой» в качестве вейвлета, эта функция должна иметь нулевое среднее значение и быть локализованной как во временном, так и в частотном пространстве [17], [23]. Примером может служить вейвлет Морле, состоящий из плоской волны, модулированной гауссианом [23]:

$$\psi_o \eta = \pi^{-1/4} e^{i\omega_o \eta} e^{-\eta^2/2} \quad (1)$$

где ω_o - безразмерная частота, принимаемая здесь равной 6, чтобы удовлетворять условию допустимости.

Непрерывное вейвлет преобразование дискретной последовательности x определяется как свертка x с масштабированной и транслированной версией $\psi_o \eta$:

$$W_n s = \sum_{n'=0}^{N-1} x_{n'} \psi^* \left[\frac{n' - n \delta t}{s} \right] \quad (2)$$

где символ * обозначает комплексное сопряжение. Изменяя масштаб вейвлета S и перемещая по локализованному временному индексу n можно построить картину, показывающую как амплитуду любых характеристик в зависимости от масштаба, так и то, как эта амплитуда изменяется со временем. Чтобы аппроксимировать непрерывное вейвлет преобразование, свертка (2) должна выполняться N раз для каждого масштаба, где N - количество точек во временных рядах [24].

Выбирая N - точек, теорема о свертке позволяет нам выполнять все N сверток одновременно в пространстве Фурье, используя дискретное преобразование Фурье (ДПФ).

$$\hat{x}_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-2\pi i k n / N} \quad (3)$$

где $k = 0, \dots, N-1$ - индексы частоты. В непрерывном представлении преобразование Фурье функции $\psi t / s$ дается выражением $\hat{\psi} s \omega$.

По теореме о свертке вейвлет - преобразование является обратным преобразованием Фурье произведения:

$$W_n s = \sum_{k=0}^{N-1} \hat{x}_k \hat{\psi}^* s \omega_k e^{i\omega_k n \delta t} \quad (4)$$

где угловая частота определяется как

$$\omega_k = \begin{cases} 2\pi k / N \delta t, & k \leq N/2, \\ -2\pi k / N \delta t, & k > N/2. \end{cases} \quad (5)$$

Используя (4) и стандартную процедуру преобразования Фурье, можно вычислить непрерывное вейвлет-преобразование (для данного s) для всех n одновременно и эффективно. Вейвлет преобразование можно использовать для анализа временных рядов, содержащих нестационарную мощность на многих разных частотах [25].

Вейвлет анализ серий координат среднего полюса Земли**1. Непрерывное вейвлет преобразование серий данных x_p и y_p .**

Непрерывное вейвлет преобразование используется в случае анализа локальной дифференцируемости функции, а также для обнаружения и характеристики ее возможных особенностей [23].

В непрерывном вейвлет преобразовании данных анализирующей функцией является вейвлет ψ . При этом сжатая или растянутая версия вейвлета ψ сравнивается с последовательностью данных. Растяжение или сжатие функции в совокупности называется расширением или масштабированием и соответствует физическому понятию масштаба. Сравнивая последовательность серий дискретных данных с вейвлетом в различных масштабах a и параметра смещения b , мы получаем функцию двух переменных. Для параметра масштаба $a > 0$ и параметра смещения b непрерывное вейвлет преобразование имеет вид

$$C_{a,b}; f(t), \psi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad a, b \in R, \quad a \neq 0 \quad (6)$$

где $f(t)$ – анализируемая функция, символ $*$ обозначает комплексное сопряжение. Коэффициенты вейвлет преобразования $C_{a,b}$ содержат комбинированную информацию об анализируемом сигнале и об используемом вейвлете. Изменяя масштаб вейвлета a и перемещая по локализованному временному индексу b , можно построить картину, показывающую как амплитуду любых характеристик в зависимости от масштаба, так и то, как эта амплитуда изменяется со временем.

Непрерывное вейвлет преобразование серий координат x_p и y_p , заданных на интервале с 1846 по настоящее время демонстрирует рисунок 1.

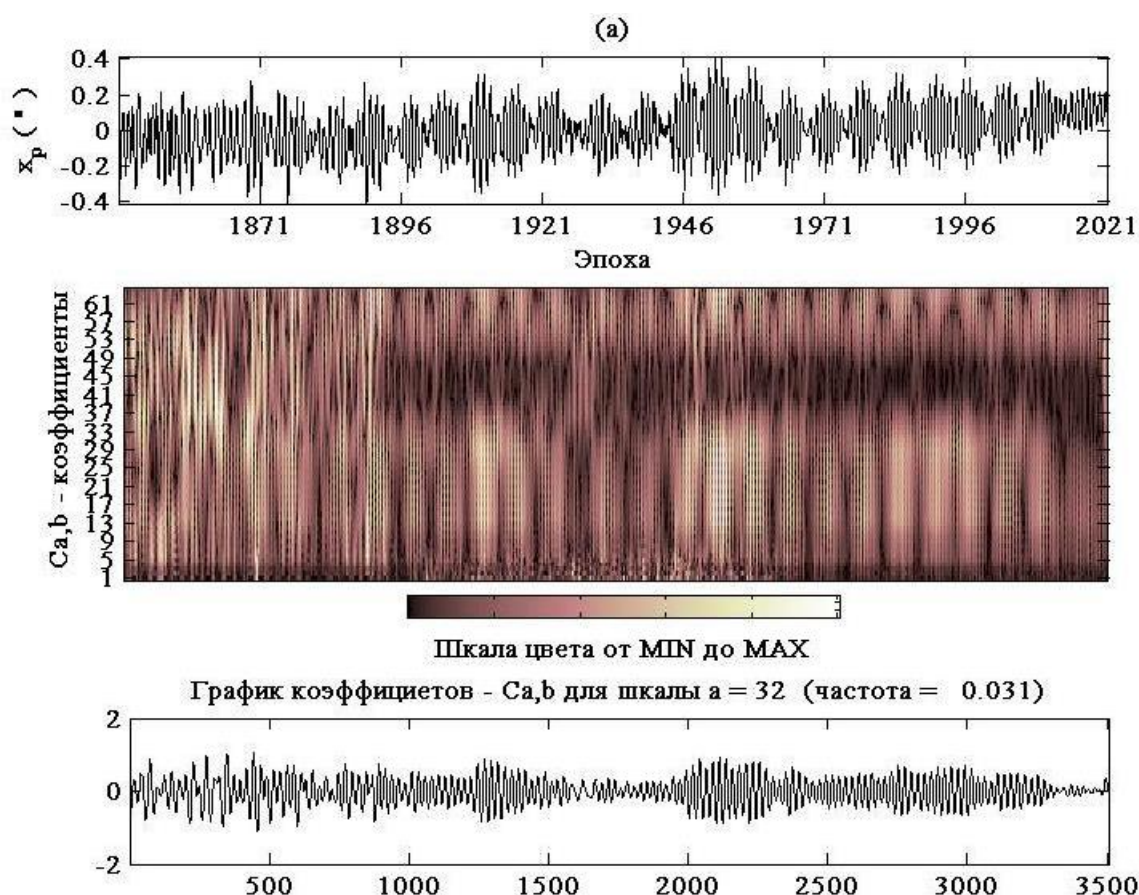


Рис. 1 – Непрерывное вейвлет преобразование данных о координатах Северного полюса Земли за период с 1846 года по настоящее время (EOP C 01, IERS):

a – координаты x_p в угловых секундах, коэффициенты $C_{a,b}$ для шкалы масштабов a от 1 до 61, график коэффициентов $C_{a,b}$ для шкалы $a = 32$ соответствующий частоте 0.031 (1/ масштаб); b – координаты y_p в угловых секундах, коэффициенты $C_{a,b}$ для шкалы масштабов a от 1 до 61, график коэффициентов $C_{a,b}$ для шкалы $a = 32$ соответствующий частоте 0,031 (1/ масштаб)

Примечание: большим величинам a шкалы масштабов соответствуют более низкие частоты и наоборот; для вейвлет преобразования использовались вейвлеты 'bior 2.2'

Информативность вейвлет преобразования данных зависит от свойств используемых вейвлетов. В работах Дебуши И. [25], [26] приведены характеристики основных «семейств» вейвлетов.

Картина на рисунке 1 получена нами путём вейвлет преобразования данных с использованием биортогональных сплайн-вейвлетов (сокращённое имя 'bior2.2'). Использование биортогональных вейвлетов представляет собой новый подход, первоначально предложенный в контексте прерывного вейвлет-преобразования. Сущность его состоит в замене вейвлета ψ на два вейвлета, один из которых используется для анализа, а другой – для реконструкции. В таком виде биортогональные вейвлеты очень перспективны, потому что они имеют гораздо большую гибкость в выборе вейвлета, чем ортогональные вейвлеты. Мы можем, например, выбрать свойства обоих вейвлетов как дополнительные, с сокращениями высокого порядка для анализирующего вейвлета и хорошей регулярностью для синтезирующего вейвлета [23].

Основные характеристики этих вейвлетов: биортогональные сплайн-вейвлеты, для которых возможны симметрия и точная реконструкция с FIR-фильтрами. В ортогональном случае это невозможно, кроме вейвлетов Хаара [26].

Цветовой индикатор позволяет оценить изменение энергии колебаний в пространстве (времени) для различных масштабов (частот). На рисунке 1 выделяется диапазон масштабов, в котором уровень энергии колебаний сравнительно низкий после 1899 года, что, очевидно, связано с фильтрацией соответствующего диапазона частот.

2. Выделение нелинейных долговременных трендов

Вейвлет – преобразование является инструментом кратно масштабного анализа, который позволяет рассматривать исследуемый сигнал с различными масштабами. Такой анализ позволяет, с одной стороны, выделять кратковременные локальные особенности сигнала, незаметные на фоне его глобальных изменений. С другой стороны, можно «отфильтровать» высокочастотные изменения сигнала, сосредоточившись на изучении его глобальных, долговременных эволюций, что было использовано нами для выделения долговременного тренда.

С этой целью был проведен выбор подходящего семейства вейвлетов как эмпирически так и с учётом свойств вейвлетов, обеспечивающих наилучшую аппроксимацию долговременных изменений анализируемых временных рядов. В результате выбраны вейвлеты из семейства «DMeyer» ("Discrete" Meyer Wavelet), сокращённое название 'dmeu'.

Перечислим основные свойства этих вейвлетов: обеспечивают ортогональный и биортогональный анализы, допускают непрерывное и дискретное вейвлет преобразования.

Соответствующая этим вейвлетам вейвлет функция представлена в виде [27]:

$$\begin{aligned}\hat{\psi} \omega &= 2\pi^{-1/2} e^{i\omega/2} \sin \pi\nu/2 \cdot 3/2\pi|\omega| - 1, \text{ если } 2\pi/3 \leq |\omega| \leq 4\pi/3, \\ \hat{\psi} \omega &= 2\pi^{-1/2} e^{i\omega/2} \cos \pi\nu/2 \cdot 3/4\pi|\omega| - 1, \text{ если } 4\pi/3 \leq |\omega| \leq 8\pi/3,\end{aligned}\quad (7)$$

где $\nu \ a = a^4 \cdot 35 - 84a + 70a^2 - 20a^3$, $a \in 0,1$;

а функция шкалы представлена выражениями:

$$\begin{aligned}\hat{\phi} \omega &= 2\pi^{-1/2}, \text{ если } |\omega| \leq 2\pi/3; \\ \hat{\phi} \omega &= 2\pi^{-1/2} \cos \pi\nu/2 \cdot 3/2\pi|\omega| - 1, \text{ если } 2\pi/3 \leq |\omega| \leq 4\pi/3; \\ \hat{\phi} \omega &= 0, \text{ если } |\omega| > 4\pi/3.\end{aligned}\quad (8)$$

В приведенных математических описаниях (2) и (3) a – масштаб, ν – вспомогательная функция, изменяя которую получаем различные вейвлеты семейства.

Процедура выделения нелинейных трендов в настоящей работе состояла в последовательном вейвлет преобразовании серий данных на различных уровнях детализации и статистической проверке результатов аппроксимации. Графики на рисунке 2 демонстрируют выделенные долговременные тренды.

На рисунке 3, приведены графики долговременных трендов в сериях данных на интервалах с 1846 года и с 1900 года по настоящее время. Сравнение графиков на рисунке 3 выявляет видимые расхождения на интервале порядка 2 лет с 1900 года.

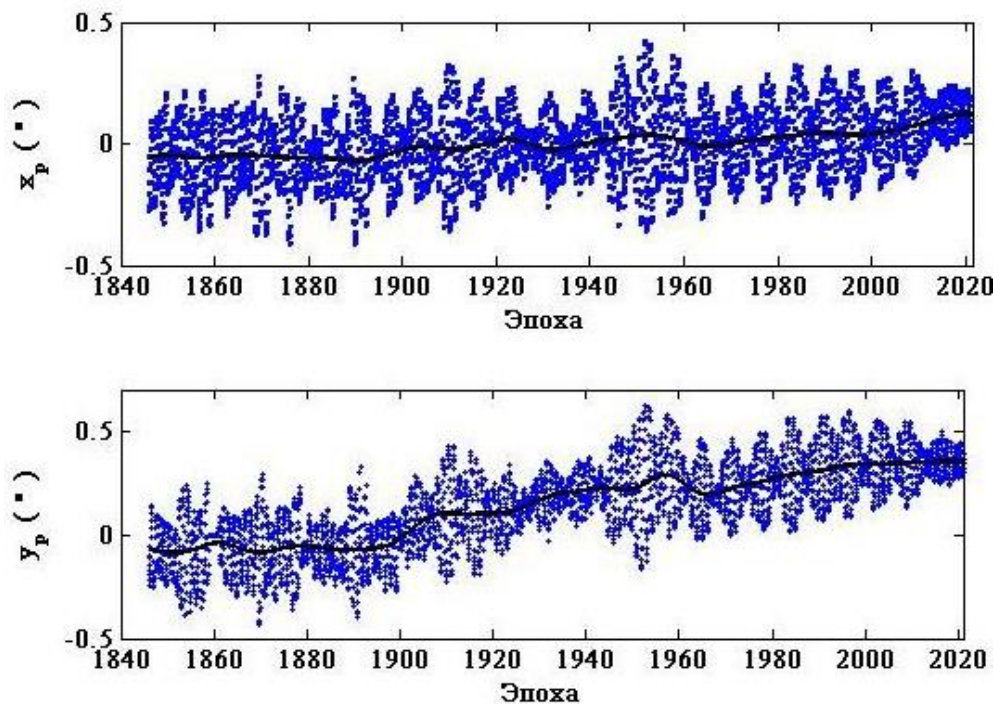


Рис. 2 – Нелинейные тренды в данных x_p и y_p : серии данных с 1846 года по настоящее время (звёздочки), нелинейные тренды (непрерывные кривые)

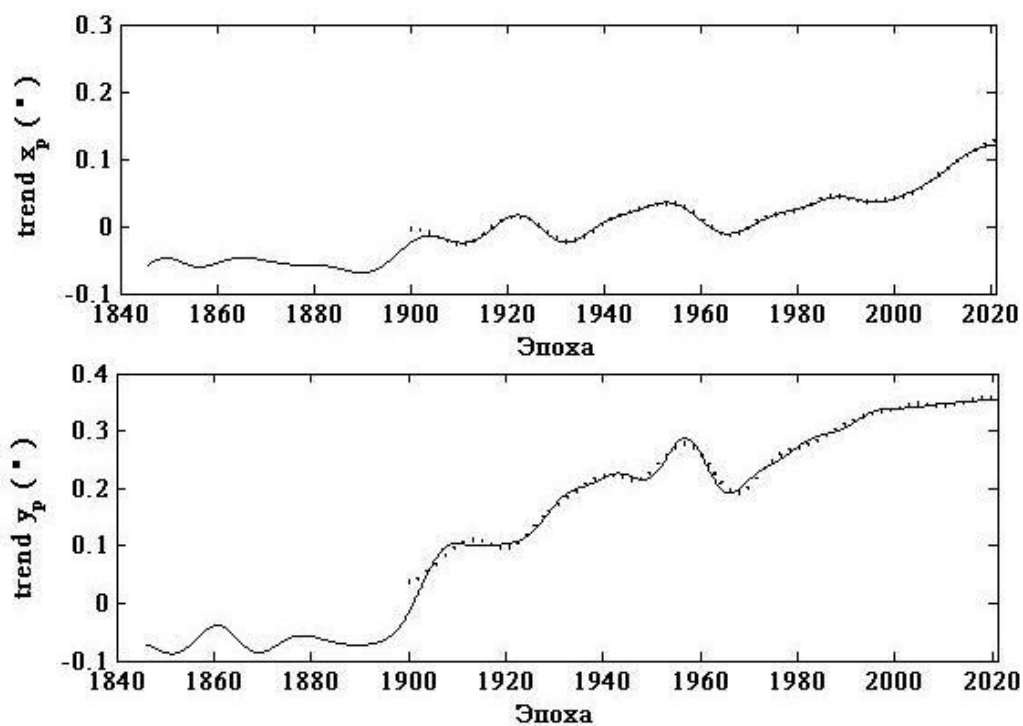
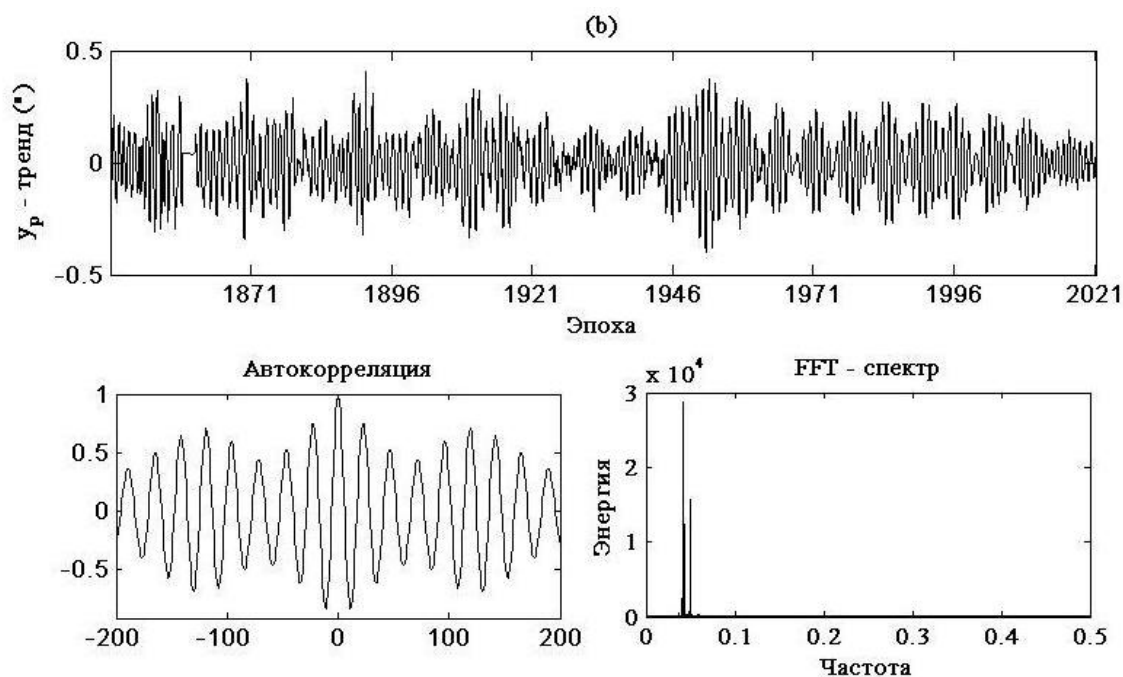


Рис. 3 – Графики нелинейных трендов выделенных в данных x_p и y_p на различных интервалах времени: сплошная линия – на интервале с 1846 года; пунктирная – с 1900 года по настоящее время

Выполним статистический анализ разностей между сериями данных x_p , y_p за период с 1846 года по настоящее время и долговременными нелинейными трендами (см. Рис. 2). Результаты статистического анализа приведены на рисунке 4 и в Таблице 1.

Рис. 4 – Статистический анализ разностей после удаления из серий x_p и y_p долговременных трендов

Графики автокорреляций и FFT – спектров на рисунке 4 обнаруживают в анализируемых разностях два наиболее мощных систематических колебания не принадлежащих к области выделенных нами низких частот. Дискретные статистики разностей в Таблице 1 демонстрируют значимость этих колебаний.

Таблица 1 – Дискретные статистики серий координат x_p, y_p после удаления трендов

	Среднее	Медиана	Мода	R	Std
x_p (")	$-6,48 \times 10^{-5}$	$1,93 \times 10^{-5}$	0,015	0,78	0,13
y_p (")	$5,28 \times 10^{-5}$	0,0017	0,043	0,80	0,13

Для анализа спектральной структуры долговременных трендов (см. Рис. 3) установим связь между преобразованием Фурье и вейвлет представлениями анализируемых временных рядов.

Взаимосвязь между частотой и длительностью

Прямого соответствия между длиной волны Фурье и масштабом нет. Однако мы можем найти коэффициенты преобразования для выбранных вейвлетов, которые дают приблизительное соответствие масштаб-частота (период).

Изменение масштаба a вейвлета приводит к пропорциональному изменению его центральной частоты:

$$F_a = \frac{\Delta \cdot F_c}{a} \quad (9)$$

где F_a – частота на масштабе a , F_c – центральная частота вейвлета на масштабе 1, Δ – период дискретизации. Таким образом, изменяя масштаб вейвлет преобразования, можно перекрыть весь частотный диапазон исследуемого сигнала. Кроме того, за счет хорошей временной локализации вейвлет преобразования можно получить информацию о спектре буквально в каждой точке сигнала.

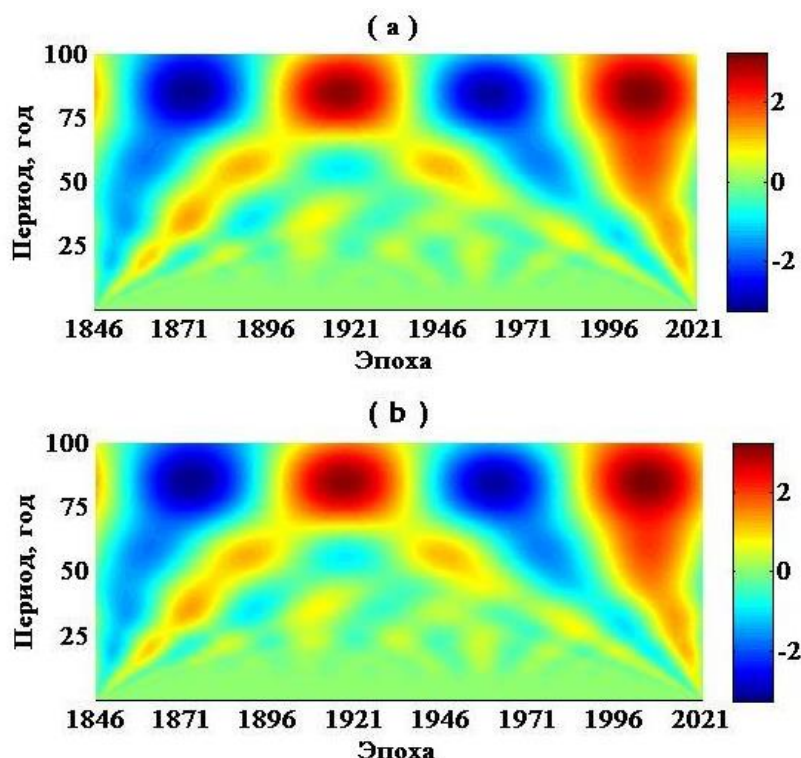
При анализе периодов колебаний в приведенных нами частотно-временных разложениях сигнала использовались вейвлеты Морле. Аналитический вейвлет Морле определяется в области Фурье следующим образом [28]:

$$\hat{\Psi}_{s\omega} = \pi^{-1/4} e^{\frac{s\omega - \omega_0}{2}} U_{s\omega} \quad (10)$$

где $U_{s\omega}$ – функция Хевисайда.

Масштабный коэффициент Фурье для вейвлета Морле равен [28]:

$$\frac{4\pi s}{\omega_0 + \sqrt{2 + \omega_0^2}} \quad (11)$$

Спектральный состав долговременных трендов в сериях x_p и y_p Рис. 5 – Частотно временная локализация колебаний в долговременных трендах серий данных x_p и y_p

Установленная нами линейная связь между шкалой коэффициентов и периодами синусоидальных колебаний позволила определить величины основных трёх периодических колебаний в данных о долговременных трендах.

Самым мощным (см. шкалу цвета справа) оказалось колебание с периодом 85.5 ± 0.5 года. Следующее, достаточно регулярное на интервале с 1846 года по настоящее время, – с периодом 56.5 ± 0.5 года. Мощность третьего и четвертого колебания с периодами ~ 33 года и ~ 21 год существенно убывает после 1900 года.

Выводы

В условиях недостаточной наблюдательной информации в прошлом, анализ долговременных серий координат полюса основан на широком использовании модельных представлений о реальном его смещении учитывающих свойственные вращению Земли внутренние связи. Модельные представления дополняют математические методы анализа.

С целью анализа серий координат среднего полюса Земли за период с 1846 года по настоящее время, нами предложен метод вейвлет анализа, позволяющий анализировать данные в пространственно-временном разложении (см. Рис. 1). Картина вейвлет разложения, приведенная на рисунке 1, демонстрирует неоднородность обработки наблюдений и ширину полосы масштабов (с 1900 года), в которой величина энергии колебаний подавлена.

Так как длительность ряда существенно влияет на достоверность определения долговременного тренда, нами использовались серии данных с 1846 года по настоящее время.

В результате непрерывного частотно временного вейвлет анализа в спектральной структуре долговременного тренда установлены колебания с периодами 85.5, 56.5, 33 и 21 год.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Жаров В. Е. Сферическая астрономия / В. Е. Жаров. — Фрязино, 2006. — 480 с. ISBN 5–85099–168–9
2. Жаров В.Е. Теория нутации неупругой Земли / В.Е. Жаров, С.Л. Пасынок // *Астрономический журнал*. 2001, том 78, №11, стр.1034-1048.
3. Молоденский М. С. Земные приливы и нутация Земли / М. С. Молоденский, М. В. Крамер. [Сб. ст.], М., 1961.
4. Schuh, H. Linear drift and periodic variations observed in long time series of polar motion / H. Schuh, S. Nagel, T. Seitz // *Journal of Geodesy*, 74; pp. 701-710.
5. Манк У. Макдональд. Вращение Земли / Манк У. Макдональд. — М.: Мир, 1964. — 384 с.
6. International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS), Earth Orientation Parameters, EOP (IERS) 08 C04. [Electronic resource] URL: <https://datcenter.iers.org/eop/>. (accessed: 12.06.2021)
7. CIPM, 1971, 59th session of the Comite International des Poids et Mesures, BIPM, Sevres.
8. IERS, Ann. Reports, [Electronic resource] URL: <http://www.iers.org/iers/publications/reports/> (accessed: 12.06.2021)
9. Dickman, S.R. Investigation of controversial polar motion features using homogeneous ILS data / S.R. Dickman // *J. Geophys. Res.* 86, pp.4904-4912.

10. Gross, R.S. A determination an Analysis of polar motion / R.S. Gross. Ph.D. dissert.; University of Colorado. 1982.
11. MacCarthy D. D. Path of the mean rotational pole from 1899 to 1994 / D. D. MacCarthy, B. J. Luzum // *Geophys. J. International*, 125, pp. 623-629.
12. Wahr John M. Deformation induced by polar motion / M. Wahr John // *Featured in Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. Volume 90, Issue B11. 30 September 1985 P. 9363–9368.
13. Bizouard C. The IERS EOP 14C04 solution for Earth orientation parameters consistent with ITRF 2014 / C. Bizouard, S. Lambert, C. Gattano et al. // *J. of Geodesy*, doi:10.1007/s00190-018-1186-3
14. Рыхлова Л.В. Движение полюса Земли в 1846.0 - 1891.5 по наблюдениям в Пулковско, Гринвиче и Вашингтоне / Л.В. Рыхлова // *А.Ж.*, Т. 45 № 5, 1968 г. С. 1132 -1133.
15. Vondrak J. Earth orientation parameters based on EOP-C4 Astrometric catalog / J. Vondrak, C. Ron, V. Stefka // *Acta Geodyn. Geomat.*
16. IERS Annual reports EOP (IERS) C 01.
17. Астафьева Н.М. Вейвлет анализ: основы теории и примеры применения / Н.М. Астафьева // *УФН*. 1998. Т.166. Вып.11. С.1145-1170
18. Бурнаев Е.В. Применение вейвлет преобразования для анализа сигналов: Учебно-методическое пособие / Е.В. Бурнаев. – М.: МФТИ, 2007. – 138 с.
19. Вейвлеты в астрономии. [Электронный ресурс] URL: <https://clck.ru/XDYt3> (дата обращения: 12.06.2021)
20. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши. М.: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2004, 464 с.
21. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / С.Л. Марпл-мл.: Пер. с англ. -М.: Мир, 1990. –584 с.
22. Duhamel P. "Fast Fourier Transforms: A Tutorial Review and a State of the Art / P. Duhamel, M. Vetterli // *Signal Processing*, Vol. 19, April 1990, pp. 259-299.
23. Farge M. Wavelet transforms and their applications to turbulence / M. Farge // *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 24, 395-457.
24. Kaiser G. A Friendly Guide to Wavelets / G. Kaiser. Birkhauser, 300 pp.
25. Daubechies, I. The wavelet transform time-frequency localization and signal analysis / I. Daubechies // *IEEE Trans. Inform. Theory*, 36, 961-1004.
26. Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets / I. Daubechies // *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 357 pp.
27. Abry P. Ondelettes et turbulence / P. Abry: Diderot ed., Paris, 1997, p. 268.
28. Torrence, C. A Practical Guide to Wavelet Analysis. / C. Torrence, G.P. Compo // *Bulletin of the American Meteorological Society* Vol. 79, No. 1, 61-78.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zharov V. E. Sfericheskaja astronomija [Spherical astronomy] / V. E. Zharov. - Fryazino, 2006. - 480 p. ISBN 5-85099-168-9 [in Russian]
2. Zharov V. E. Teorija nutacii neuprugoj Zemli [Theory of nutation of the inelastic Earth] / V. E. Zharov, S. L. Pasynok // *Astronomicheskij zhurnal [Astronomical Journal]*. 2001, volume 78, No. 11, pp. 1034-1048. [in Russian]
3. Molodensky M. S. Zemnye prilivy i nutacija Zemli [Earth tides and nutation of the Earth] / M. S. Molodensky, M. V. Kramer. [Collection of articles], M., 1961. [in Russian]
4. Schuh, H. Linear drift and periodoc variations observed in long time series of polar motion / H. Schuh, S. Nagel, T. Seitz // *Journal of Geodesy*, 74; pp. 701-710.
5. Monk W. McDonald. Vrashhenie Zemli [The rotation of the Earth] / Monk W. McDonald. - Moscow: Mir, 1964 – - 384 p. [in Russian]
6. International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS), Earth Orientation Parameters, EOP (IERS) 08 C04. [Electronic resource] URL: <https://datcenter.iers.org/eop/>. (accessed: 12.06.2021)
7. CIPM, 1971, 59th session o f the Comitt International des Poids et Mesures, BIPM, Sevres.
8. IERS, Ann. Reports, [Electronic resource] URL: <http://www.iers.org/iers/publications/reports/> (accessed: 12.06.2021)
9. Dickman, S.R. Investigation of controvertial polar motion features using homogeneous ILS data / S.R. Dickman // *J. Geophys. Res.* 86, pp.4904-4912.
10. Gross, R.S. A determination an Analysis of polar motion / R.S. Gross. Ph.D. dissert.; University of Colorado. 1982.
11. MacCarthy D. D. Path of the mean rotational pole from 1899 to 1994 / D. D. MacCarthy, B. J. Luzum // *Geophys. J. International*, 125, pp. 623-629.
12. Wahr John M. Deformation induced by polar motion / M. Wahr John // *Featured in Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. Volume 90, Issue B11. 30 September 1985 P. 9363–9368.
13. Bizouard C. The IERS EOP 14C04 solution for Earth orientation parameters consistent with ITRF 2014 / C. Bizouard, S. Lambert, C. Gattano et al. // *J. of Geodesy*, doi:10.1007/s00190-018-1186-3
14. Rykhlova L. V. Dvizhenie poljusa Zemli v 1846.0 - 1891.5 po nabljudenijam v Pulkovo, Grinvice i Vashingtone [The movement of the Earth's pole in 1846.0-1891.5 according to observations in Pulkovo, Greenwich and Washington] / L. V. Rykhlova // *A. Zh.*, Vol. 45 No. 5, 1968, pp. 1132 -1133.
15. Vondrak J. Earth orientation parameters based on EOP-C4 Astrometric catalog / J. Vondrak, C. Ron, V. Stefka // *Acta Geodyn. Geomat.*
16. IERS Annual reports EOP (IERS) C 01.
17. Astaf'eva N. M. Vejvlet analiz: osnovy teorii i primery primenenija [Wavelet analysis: basic theory and applications] / N. M. Astafieva // *UFN*. 1998. Vol. 166. Issue.11. P. 1145-1170
18. Burnaev E. V. Primenenie vejvlet preobrazovanija dlja analiza signalov [Application of wavelet transform for signal analysis]: textbook / E. V. Burnaev. – М.: МФТИ, 2007. – 138 p.
19. Vejvlety v astronomii [Wavelets in astronomy]. [Electronic resource] URL: <https://clck.ru/XDYt3> (accessed: 12.06.2021)

20. Dobeshi I. Desjat' lekcij po vejvletam [Ten lectures on wavelets] / I. Dobeshi. M.: SIC "Regular and chaotic dynamics", 2004, 464 p.
21. Marple-mI. S. L. Cifrovoj spektral'nyj analiz i ego prilozhenija [Digital spectral analysis and its applications] / S. L. Marple-mI.: Trans. from English-M.: Mir, 1990. .-584 p.
22. Duhamel P. "Fast Fourier Transforms: A Tutorial Review and a State of the Art / P. Duhamel, M. Vetterli // Signal Processing, Vol. 19, April 1990, pp. 259-299.
23. Farge M. Wavelet transforms and their applications to turbulence / M. Farge // Annu. Rev. Fluid Mech., 24, 395-457.
24. Kaiser G. A Friendly Guide to Wavelets / G. Kaiser. Birkhauser, 300 pp.
25. Daubechies, I. The wavelet transform time-frequency localization and signal analysis / I. Daubechies // IEEE Trans. Inform. Theory, 36, 961-1004.
26. Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets / I. Daubechies // Society for Industrial and Applied Mathematics, 357 pp.
27. Abry P. Ondelettes et turbulence / P. Abry: Diderot ed., Paris, 1997, p. 268.
28. Torrence, C. A Practical Guide to Wavelet Analysis. / C. Torrence, G.P. Compo // Bulletin of the American Meteorological Society Vol. 79, No. 1, 61-78.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.022>**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ, ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ ВЫСОКОВЯЗКУЮ НЕФТЬ**

Научная статья

Николаев А.К.¹, Зарипова Н.А.^{2,*}, Пшенин В.В.³¹ ORCID: 0000-0001-5699-9245;² ORCID: 0000-0002-3709-2012;³ ORCID: 0000-0003-4604-3172;^{1, 2, 3} Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (Znatalya93[at]mail.ru)

Аннотация

Как известно, в настоящее время происходит истощение традиционных запасов нефти и все большее внимание уделяется разработке месторождений трудноизвлекаемых запасов, в частности – нефти с повышенной вязкостью. Приоритетными направлениями развития нефтегазового сектора являются: развитие газопроводных и нефтепроводных сетей, развитие подключенных к трубопроводам газовых и нефтяных минерально-сырьевых центров Надым-Пурской и Пур-Тазовской нефтегазоносных областей, в том числе с применением новых технологий добычи и разработки нижележащих пластов, а также трудноизвлекаемых запасов нефти. Обеспечить выполнение указанных выше стратегических задач в части транспорта нефти можно путем разработки научно-обоснованных подходов к рациональной доставке нефти от промысла к существующим магистралям. На сегодняшний день признанным экспертным сообществом решением является надземная прокладка с использованием протяженных систем электрообогрева. В статье авторами представлены рекомендации по повышению эффективности эксплуатации надземных нефтепроводов высоковязкой нефти, оборудованных системой электрообогрева. Разработан алгоритм расчета падения давления в остановленном нефтепроводе в процессе эксплуатации нефтепроводов в двух случаях: для заземленного нефтепровода и для не заземленного нефтепровода. Кроме того, представлена программа для изучения режимов работы неизотермического нефтепровода.

Ключевые слова: падение давления, нефтепровод, утечка, алгоритм расчета, гидроиспытания, система обнаружения утечек, неизотермический нефтепровод, программа ЭВМ.

RECOMMENDATIONS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF OPERATION OF PIPELINES TRANSPORTING HIGH-VISCOSITY OIL

Research article

Nikolaev A. K.¹, Zaripova N. A.^{2,*}, Pshenin V. V.³¹ ORCID: 0000-0001-5699-9245;² ORCID: 0000-0002-3709-2012;³ ORCID: 0000-0003-4604-3172;^{1, 2, 3} Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (Znatalya93[at]mail.ru)

Abstract

It is a known fact that, at present, traditional oil reserves are being depleted and more and more attention is being paid to the development of deposits of hard-to-recover reserves, particularly high viscosity oil. The priority trajectories of the development of the oil and gas sector are the development of gas and oil pipeline networks, the development of gas and oil mineral resource centers connected to pipelines in the Nadym-Purskaya and Pur-Tazovskaya oil and gas regions, including the use of new technologies for the extraction and development of underlying reservoirs, as well as hard-to-recover oil reserves. It is possible to ensure the fulfillment of these strategic tasks in terms of oil transport by developing scientifically based approaches to the rational delivery of oil from the field to the existing highways. Today, the solution recognized by the expert community is an aboveground routing using extended electric heating systems. The article presents recommendations for improving the efficiency of operation of aboveground high-viscosity oil pipelines equipped with an electric heating system. The authors also present an algorithm for calculating the pressure decrease in a stopped oil pipeline during the operation of oil pipelines in two cases: for a pinched and non-pinched oil pipeline. In addition, the article presents a program for studying the operating modes of a non-isothermal oil pipeline.

Keywords: pressure decrease, oil pipeline, leak, calculation algorithm, hydraulic testing, leak detection system, non-isothermal oil pipeline, software.

Введение

С учетом неравномерности загрузки магистральных трубопроводов в процессе их развития или длительной эксплуатации необходимо исследовать технико-экономические вопросы работы «горячих» трубопроводов с пропускной способностью, меньшей проектной. Трубопровод при неполной его загрузке можно эксплуатировать либо непрерывно, либо циклически.

В процессе эксплуатации нефтепроводов, транспортирующих высоковязкую нефть неизбежна потеря части продукта вследствие утечек. При циклической перекачке важным вопросом, возникающим в процессе эксплуатации трубопровода является обнаружение утечек во время его остановок. Система обнаружения утечек должна обеспечивать определение в режиме реального времени координату возникновения утечки и время возникновения утечки нефтепровода.

Рассмотрим характеристики параметрических систем обнаружения утечек (СОУ), которые соответствуют типовым требованиям компании ПАО «Транснефть» (таблица 1) [1], [2].

Таблица 1 – Характеристики параметрических СОУ, реализуемых на основе показаний средств измерения расхода и давления внутри трубопровода [3]

Показатель	Значение
Инфраструктура АСУТП, необходимая для реализации СОУ	– СИ давления, расхода, температуры, плотности, вязкости; – СДКУ/ЕСДУ.
Срок службы, лет	не менее 20
Время восстановления работоспособности в случае выхода из строя, часов	не более 72
Количество взаимоподтверждающих алгоритмов для выявления факта негерметичности линейной части	не менее 2
Параметры, определяемые СОУ при нарушении герметичности трубопровода	– координата утечки; – время обнаружения утечки; – значение объемного расхода утечки
Погрешность определения координаты утечки, км	$\pm 5^*$
Допустимое количество ложных срабатываний в зависимости от длины защищаемого участка	– до 1000 км – 5 в год, не более 1 в месяц; – до 2000 км – 7 в год, не более 1 в месяц; – от 2000 км – 10 в год, не более 1 в месяц
Время обнаружения утечки	– в зависимости от режима перекачки и чувствительности обнаружения утечки согласно таблице 2
Коэффициент готовности оборудования СОУ за 4000 ч непрерывной работы	не менее 0,98

В таблице 2 представлены сведения по чувствительности обнаружения утечки.

Таблица 2 – Чувствительность обнаружения утечки

Время обнаружения утечки, мин	Чувствительность обнаружения утечки, % от максимального значения диапазона измерений всех средств измерения расхода на технологическом участке)	
	в стационарном режиме или в режиме остановленной перекачки	в нестационарном режиме
6	9	20,4
12	7,2	16,8
18	5,4	13,2
24	3,6	9,6
30	1,8	6

Помимо вышеуказанных параметров, необходимо предусмотреть возможность маскирования функции обнаружения утечек в момент отбора проб на собственные нужды [4], [5].

Основные результаты

1. Алгоритм расчета падения давления в остановленном нефтепроводе

Рассмотрим алгоритм расчета [6], [7], [8], [9] падения давления в остановленном нефтепроводе в процессе эксплуатации нефтепроводов. Принятые для расчетов параметры, их обозначения и единицы измерения приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Принятые в расчетах параметры

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Ед. изм.
1	Объем трубопровода	V	м ³
2	Давление в трубопроводе	P	Па
3	Изменение давления в трубопроводе	ΔP	Па
4	Внутренний диаметр трубопровода	D_I	м
5	Коэффициент Пуассона для металла труб	ν	–
6	Температура трубопровода	T	К
7	Модуль упругости материала трубопровода	E	Па
8	Коэффициент линейного теплового расширения	α_L	1/К
9	Изменение температуры трубопровода	ΔT	К
10	Изменение массы продукта (утечка)	Δm	кг
11	Плотность транспортируемого продукта	ρ	кг/м ³
12	Изменение плотности транспортируемого продукта	$\Delta \rho$	кг/м ³

Окончание таблицы 3 – Принятые в расчетах параметры

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Ед. изм.
13	Модуль упругости продукта	K	Па
14	Содержание газовой фазы в общем объеме	X	–
15	Объем газовой фазы	V_g	м ³
16	Объем жидкой фазы	ΔV_l	м ³
17	Общий объем	ΔV_c	м ³
18	Эффективный модуль упругости продукта	$K_{эф}$	Па
19	Эффективный модуль упругости газовой фазы	K_g	Па
20	Эффективный модуль упругости жидкой фазы	K_l	Па
21	Коэффициент объемного теплового расширения	α_v	1/К
22	Эффективный коэффициент теплового расширения	$\alpha_{эф}$	1/К
23	Коэффициент объемного теплового расширения жидкой фазы	α_l	1/К
24	Коэффициент объемного теплового расширения газовой фазы	α_g	1/К
25	Длина участка трубопровода	L	м

В остановленном трубопроводе сложной для анализа задачей является определение причин падения давления, которые могут состоять как в падении температуры продукта, так и в незаконном отборе жидкости [10].

Изменение геометрического объема для жесткого заземленного трубопровода рассчитывается по формуле

$$\Delta V = V_1 \cdot \left(\frac{\Delta P \cdot D_1 \cdot (1 - \nu^2)}{t \cdot E} + 2 \cdot (1 + \nu) \alpha_L \cdot \Delta T \right). \quad (1)$$

Изменение геометрического объема для трубопровода, который может перемещаться во всех направлениях составит

$$\Delta V = V_1 \cdot \left(\frac{\Delta P \cdot D_1 \cdot \left(\frac{5}{4} - \nu \right)}{t \cdot E} + 3 \cdot \alpha_L \cdot \Delta T \right). \quad (2)$$

В качестве линейного приближения масса вытекшего продукта может быть оценена как

$$\Delta m = \rho_1 \Delta V + \Delta \rho V_1. \quad (3)$$

Изменение плотности продукта по определению составит

$$\Delta \rho = \Delta P \cdot \left(\frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_T + \Delta T \cdot \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_P. \quad (4)$$

Модуль упругости продукта определяется как

$$K = \rho_1 \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)_T. \quad (5)$$

Таким образом, выражение для изменения плотности можно переписать следующим образом

$$\Delta \rho = \rho_1 \cdot \frac{\Delta P}{K} + \Delta T \cdot \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_P. \quad (6)$$

Окончательно получаем формулу для заземленного трубопровода

$$\Delta P = \frac{\frac{\Delta m}{V_1} - \Delta T \cdot (2 \cdot \rho_1 \cdot (1 + \nu) \cdot \alpha_L + \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_P)}{\rho_1 \cdot \left(\frac{D_1 \cdot (1 - \nu^2)}{t \cdot E} + \frac{1}{K} \right)}. \quad (7)$$

Для не заземленного трубопровода зависимость для перепада давления примет вид

$$\Delta P = \frac{\frac{\Delta m}{V_1} - \Delta T \cdot (3 \cdot \rho_1 \cdot \alpha_L + \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_P)}{\rho_1 \cdot \left(\frac{D_1}{t \cdot E} \cdot \left(\frac{5}{4} - \nu \right) + \frac{1}{K} \right)}. \quad (8)$$

На идентификацию состояния нефтепровода оказывают влияние отложения парафина, газовые и водные скопления и т.д. [11].

Содержание газовой фазы в общем объеме продукта выражается как

$$X = \frac{V_g}{V_l + V_g} = \frac{V_g}{V_c}. \quad (9)$$

Эффективный модуль упругости продукта по определению равен

$$K_{эф} = -V_c \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial V_c} \right)_T. \quad (10)$$

При замене бесконечно малых на разности можно оценить величину обратную эффективному модулю упругости продукта как

$$\frac{1}{K_{эф}} \cong -\frac{1}{V_c} \cdot \left(\frac{\Delta V_l + \Delta V_g}{\Delta P} \right). \quad (11)$$

Тогда с учетом выражения (4.9) получим

$$K_{эф} \cong \left(\frac{X}{K_g} + \frac{1-X}{K_l} \right)^{-1}. \quad (12)$$

Коэффициент объемного теплового расширения составит

$$\alpha_V = \frac{1}{V} \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = -\frac{1}{\rho} \cdot \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_P. \quad (13)$$

Эффективный коэффициент объемного теплового расширения с учетом полученных выше выражений запишется как

$$\alpha_{эф} = \frac{1}{V} \cdot \left(\frac{\Delta V_l + \Delta V_g}{\Delta T} \right)_P. \quad (14)$$

Окончательно, для эффективного коэффициента объемного теплового расширения получаем выражение

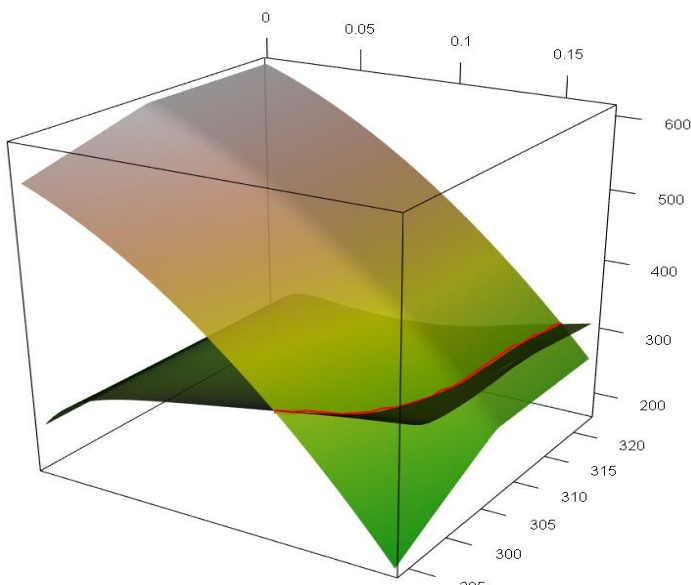
$$\alpha_{эф} = \frac{V_l}{V} \cdot \left(\frac{\Delta V_l}{\Delta V_l \cdot \Delta T} \right)_P + \frac{V_g}{V} \cdot \left(\frac{\Delta V_g}{\Delta V_g \cdot \Delta T} \right)_P = (1-X) \cdot \alpha_l + X \cdot \alpha_g. \quad (15)$$

2. Программа для изучения режимов работы неизотермического нефтепровода

Для решения задач, связанных с определением режимов работы неизотермических нефтепроводов может быть использованная разработанная авторами программа («Программа для изучения режимов работы неизотермического нефтепровода», номер регистрации/свидетельства программы для ЭВМ: №2020666058 от 04.12.2020). Программа решает важную при проектировании и эксплуатации объектов транспорта высоковязкой нефти задачу расчета возможных режимов перекачки в зависимости от определяющих процесс параметров. Она включает в себя модуль ввода исходных данных, решение сопряженной задачи трубной гидродинамики, теплообмена и упрощенный подсчет основных технико-экономических показателей перекачки, обеспечивает решение следующих задач: построение трехмерной поверхности, отображающей возможные режимы «горячего» нефтепровода, в координатах «расход – температура – напор»; поиск оптимальных значений начальной температуры подогрева и расхода перекачки.

Характеристики разработанного программного решения представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики разработанного программного решения

Исходные данные	В соответствии с нормативным документом РД 75.180.00-КТН-198-09, дополнительно учитываются: параметры насосных агрегатов, параметры электрообогрева.
Модель насосной	В расчетах предусмотрены центробежные насосные агрегаты, с известными напорными характеристиками. В программе учтена деградация характеристик насосов при повышении вязкости транспортируемого продукта.
Модель трубопровода	Модель трубопровода представлена в качестве линейного объекта, без учета сброса и подкачек. Решение задачи ведется в квазистационарной постановке. Дополнительные потери тепла на участках сопряжения теплоизоляции, трубопроводной арматуре и т.д. учитываются путем введения поправочных коэффициентов.
Численный результат вычислений	Результатом вычислений являются потери напора на участке, протяженность турбулентного и ламинарного участков, затраты на перекачку, затрачиваемая мощность, оптимальная температура подогрева.
Графический результат вычислений	 <p>График зависимости в координатах «температура (К) – расход перекачки ($\text{м}^3/\text{с}$) – напор (м)». Красная линия – линия рабочих режимов. Излом на поверхности насосной станции обусловлен изменением характеристик центробежных насосных агрегатов при повышении коэф. кинематической вязкости выше критического значения</p>

Заключение

В статье рассмотрены способы повышения эффективности эксплуатации систем надземных нефтепроводов высоковязкой нефти, оборудованных электрообогревом, а именно: алгоритм расчета падения давления в остановленном нефтепроводе и программа для изучения режимов работы неизотермического нефтепровода.

Алгоритм может быть применим на нефтепроводах высоковязкой нефти, работающих с циклической перекачкой. Особенностью данного алгоритма является возможность его применения для расчета параметров гидроиспытаний в условиях значимых температурных перепадов, а также имеется возможность интеграции полученных соотношений в параметрические системы обнаружения утечек.

Программа для изучения режимов работы неизотермического нефтепровода составлена на языке R, предназначена для проведения гидравлического расчета системы «надземный теплоизолированный трубопровод – насосная станция».

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Жолобов В. В. Математическое описание и расчет волновых процессов от подключения линейных участков при заполнении профильного нефтепровода / В. В. Жолобов, С. А. Савинов, Е. И. Тарновский [и др.] // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. - 2013. - № 3 (11). - С. 34-41.
2. Жолобов В. В. О применении уравнений А.Н. Колмогорова в параметрической системе обнаружения утечек на магистральном нефтепроводе / В. В. Жолобов, Е. И. Тарновский, А. М. Ширяев // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. - 2012. - № 3 (7). - С. 56-63.
3. Сунагатуллин Р. З. Анализ влияния характеристик измерительного оборудования на работу параметрических методов обнаружения утечек / Р. З. Сунагатуллин, С. А. Коршунов, Ю. В. Дацов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. - 2018. - Т. 8, № 5. - С. 548-557.

4. Некучаев В. О. Особенности реологических кривых течения высоковязких нефтей и их водных эмульсий / В. О. Некучаев, А. А. Васенева // Нефтяное хозяйство. - 2013. - № 8. - С. 61-63.
5. Пергушев Л. П. Расчет влияния вязкости жидкости на характеристики центробежного насоса / Л. П. Пергушев // Нефтяное хозяйство. - 2011. - № 5. - С. 122-123.
6. Логинова Н. А. О влиянии экранирования на термическое сопротивление теплоизоляционных конструкций / Н. А. Логинова, Е. Е. Лапин, С. И. Погорелов [и др.] // Нефтяное хозяйство. - 2016. - № 5. - С. 89-91.
7. Логинова Н. А. Обзор теплоизоляционных материалов, применяемых при строительстве и эксплуатации нефтепроводов и оборудования станций подогрева нефти / Н. А. Логинова, Е. Е. Лапин, А. А. Батраков [и др.] // Нефтяное хозяйство. - 2015. - № 9. - С. 126-129.
8. Лурье М. В. Алгоритм обнаружения места частичной закупорки нефтепровода / М. В. Лурье // Нефтяное хозяйство. - 2013. - № 9. - С. 111-113.
9. Лурье М. В. Алгоритм расчета квазиустановившихся режимов неізотермической перекачки нефти / М. В. Лурье // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. - 2014. - № 2 (14). - С. 28-31.
10. Мамонова Т. Е. Использование гидродинамических моделей в задачах определения утечек из нефтепродуктопроводов / Т. Е. Мамонова // Нефтяное хозяйство. - 2015. - № 4. - С. 92-95.
11. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. - М.-Л.: Издательство АН СССР, 1946. - 185 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zholobov V. V. Matematicheskoe opisanie i raschet volnovykh processov ot podklyucheniya lineynykh uchastkov pri zapolnenii profil'nogo nefteprovoda [Mathematical description and calculation of wave processes from the connection of linear sections when filling a profile oil pipeline] / V. V. Zholobov, S. A. Savinov, E. I. Tarnovskij et al. // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefi i nefteproduktov [Science and technologies of pipeline transport of oil and petroleum products]. - 2013. - № 3 (11). - P. 34-41. [in Russian]
2. Zholobov V. V. O primeneniі uravnenij A.N. Kolmogorova v parametriceskoj sisteme obnaruzheniya utecek na magistral'nom nefteprovode [On the application of the equations of A.N. Kolmogorov in a parametric system for detecting leaks on a main oil pipeline] / V. V. Zholobov, E. I. Tarnovskij, A. M. Shiryayev // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefi i nefteproduktov [Science and technologies of pipeline transport of oil and petroleum products]. - 2012. - № 3 (7). - P. 56-63. [in Russian]
3. Sunagatullin R. Z. Analiz vliyaniya harakteristik izmeritel'nogo oborudovaniya na rabotu parametriceskikh metodov obnaruzheniya utecek [Analysis of the influence of the characteristics of measuring equipment on the operation of parametric leak detection methods] / R. Z. Sunagatullin, S. A. Korshunov, YU. V. Dacov // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefi i nefteproduktov [Science and technologies of pipeline transport of oil and petroleum products]. - 2018. - Vol. 8, № 5. - P. 548-557. [in Russian]
4. Nekuchaev V. O. Osobennosti reologicheskikh krivykh techeniya vysokov'yazkikh neftej i ih vodnykh emul'sij [Features of rheological curves of the flow of high-viscosity oils and their aqueous emulsions] / V. O. Nekuchaev, A. A. Vaseneva // Neftyanoe hozyajstvo [Oil Industry]. - 2013. - № 8. - P. 61-63. [in Russian]
5. Pergushev L. P. Raschet vliyaniya vyazkosti zhidkosti na harakteristiki centrobezhnogo nasosa [Calculation of the effect of fluid viscosity on the characteristics of a centrifugal pump] / L. P. Pergushev // Neftyanoe hozyajstvo [Oil Industry]. - 2011. - № 5. - P. 122-123. [in Russian]
6. Loginova N. A. O vliyaniі ekranirovaniya na termicheskoe soprotivlenie teploizolyacionnykh konstrukcij [About the effect of shielding on the thermal resistance of heat-insulating structures] / N. A. Loginova, E. E. Lapin, S. I. Pogorelov et al. // Neftyanoe hozyajstvo [Oil Industry]. - 2016. - № 5. - P. 89-91. [in Russian]
7. Loginova N. A. Obzor teploizolyacionnykh materialov, primenyaemykh pri stroitel'stve i ekspluatatsii nefteprovodov i oborudovaniya stancij podogreva nefi [Review of thermal insulation materials used in the construction and operation of oil pipelines and equipment for oil heating stations] / N. A. Loginova, E. E. Lapin, A. A. Batrakov et al. // Neftyanoe hozyajstvo [Oil Industry]. - 2015. - № 9. - P. 126-129. [in Russian]
8. Lur'e M. V. Algorit'm obnaruzheniya mesta chastichnoj zakuporki nefteprovoda [Algorithm for detecting a place of partial blockage of an oil pipeline] / M. V. Lur'e // Neftyanoe hozyajstvo [Oil Industry]. - 2013. - № 9. - P. 111-113. [in Russian]
9. Lur'e M. V. Algorit'm rascheta kvaziustanovivshisya rezhimov neizotermiceskoj perekachki nefi [Algorithm for calculating quasi-stationary modes of non-isothermal oil pumping] / M. V. Lur'e // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefi i nefteproduktov [Science and technologies of pipeline transport of oil and petroleum products]. - 2014. - № 2 (14). - P. 28-31. [in Russian]
10. Mamonova T. E. Ispol'zovanie gidrodinamicheskikh modelej v zadachah opredeleniya utecek iz nefteproduktoprovodov [The use of hydrodynamic models in the problems of determining leaks from oil product pipelines] / T. E. Mamonova // Neftyanoe hozyajstvo [Oil Industry]. - 2015. - № 4. - P. 92-95. [in Russian]
11. Idel'chik I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam [Hydraulic resistance guide] / I.E. Idel'chik. - M.-L.: ANSSR Publishing House, 1946. - P. 185 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.023>**АНТРОПОГЕННЫЕ ЛАНДШАФТЫ ЗАПОВЕДНИКА «ДЕНЕЖКИН КАМЕНЬ»**

Научная статья

Янцер О.В.^{1,*}, Скок Н.В.²¹ ORCID: 0000-0003-1346-5512;² ORCID: 0000-0003-2587-9165;^{1,2} Уральский государственный педагогический университет, Екатеринбург, Россия

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

Аннотация

Ландшафтная структура территории позволяет комплексно оценить особенности восстановления природных ресурсов. Природный заповедник «Денежкин камень» создан для охраны слабоизмененных горных среднетаежных ландшафтов Северного Урала. Целью работы послужила оценка степени антропогенного воздействия на ландшафты заповедника в прошлом и выявление особенностей динамики их восстановления. Пространственная структура территории отражается на ландшафтной карте, составленной по методике А.Г. Исаченко и В.И. Прокаева, на основе результатов многолетних полевых исследований. На ней, кроме коренных, впервые полно отражены характеристики антропогенных фаций и антропогенных модификаций. Максимальное количество антропогенных изменений выявлено в южной части заповедника, для которой приведен увеличенный фрагмент карты. Антропогенные модификации расположены, в основном, в горно-таежном поясе и относятся к двум классам средне-, и сильноизмененных фаций. Это зарастающие участки лесов и просек после сплошной и выборочной рубки, окраин грунтовых лесных дорог, зарастающие сенокосные луга и залежи на месте населенных пунктов сельского типа с прилегающими сельскохозяйственными угодьями и участки лугов с сорной растительностью на месте населенных пунктов с несплошной застройкой, огородов и приусадебных участков. Антропогенные фации представлены дражными полигонами в поймах рек и на надпойменных террасах в долине реки Сольва.

Ключевые слова: среднегорья Северного Урала, заповедник «Денежкин камень», ландшафтное картографирование, антропогенные модификации, антропогенные фации.

ANTHROPOGENIC LANDSCAPES OF THE "DENEZHKIN KAMEN" NATURE RESERVE

Research article

Yantser O.V.^{1,*}, Skok N.V.²¹ ORCID: 0000-0003-1346-5512;² ORCID: 0000-0003-2587-9165;^{1,2} Ural State Pedagogical University; Yekaterinburg, Russia

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

Abstract

The landscape structure of a territory allows for a comprehensive assessment of the features of the restoration of natural resources. The "Denezhkin Kamen" nature reserve was created to protect the poorly modified mountain mid-taiga landscapes of the Northern Urals. The purpose of the study is to assess the degree of anthropogenic impact on the landscapes of the reserve in the past and to identify the features of the dynamics of their restoration. The spatial structure of the territory is reflected on the landscape map compiled according to the methodology of A. G. Isachenko and V. I. Prokaev based on the results of many years of field research. In addition to the indigenous ones, the map for the first time fully reflects the characteristics of anthropogenic facies and anthropogenic modifications. The maximum number of anthropogenic changes was detected in the southern part of the reserve, for which an enlarged fragment of the map is shown. Anthropogenic modifications are located mainly in the mountain-taiga belt and belong to two classes of medium- and highly modified facies. These are overgrown areas of forests and clearings after continuous and selective logging, the outskirts of unpaved forest roads, overgrown hay meadows and deposits on the site of rural settlements with adjacent agricultural land, and areas of meadows with weed vegetation on the site of settlements with scattered buildings, vegetable gardens and homesteads. Anthropogenic facies are represented by drainage polygons in the floodplains of rivers and on the floodplain terraces in the valley of the Solva River.

Keywords: middle mountains of the Northern Urals, "Denezhkin Kamen" nature reserve, landscape mapping, anthropogenic modifications, anthropogenic facies.

Введение

Изучение ландшафтной структуры территории дает возможность комплексно оценить особенности рационального использования природных ресурсов и их восстановления [1], [2], [3]. Достижения в области пространственного моделирования сделали возможным представить результаты ландшафтных исследований при помощи информационных систем. Благодаря этому стало вероятным прогнозирование возможных экологических изменений в ландшафте на пространственном уровне [4], [5]. Детальные ландшафтные карты наиболее презентабельны для учета структуры охраняемых территорий, в частности антропогенных изменений природных комплексов и их динамики [6], [7].

Государственный природный заповедник «Денежкин камень» расположен на северо-западе Свердловской области, примерно в 40 км от города Североуральска. Он был создан в 1946 году для охраны слабоизмененных горных среднетаежных ландшафтов Северного Урала. Территория, общей площадью 78, 2 тыс. га, вытянута в меридиональном направлении. В центральной части современного заповедника с конца 19 века находился поселок Сольва, профилем которого являлась добыча механическим способом при помощи драги платины и золота. Река Сольва от среднего течения (кв.439) до устья пройдена драгой. Спутники поселка – пункты Механический (кв.454) и Дражный (кв.477-479), возникали по мере ее продвижения вниз по течению. Кроме этого, золотодобыча осуществлялась в лагере переселенцев,

в поселке Веселый (кв.477/479), в 30-х годах и прекратилась здесь с началом войны [8]. Однако, в отличие от других районов Урала, на территории заповедника никогда не велось масштабных разработок полезных ископаемых. Жители занимались подсобным сельским хозяйством. Выпас скота на небольших пастбищах и сенокосение происходило вдоль рек, включая Еловку и Сольву. С 1946 по 1961 год здесь функционировал заповедник «Денежкин Камень». Затем он был ликвидирован и преобразован в Государственное промысловое хозяйство с одноименным названием. Массовая заготовка леса в промышленных целях началась в 70-х годах. Рубки осуществлялись, в основном, в лесах с преобладанием сосны. Всего за 20 лет с 1971 по 1991 г. вырублено 838 га. Произведенные лесопосадки на площади в 200 га, были признаны нецелесообразными вследствие бедности горных почв и вымывания посевов тальными водами. В 1991 году заповедник вновь открыт и функционирует по настоящее время. Его территория неоднократно подвергалась пожарам. Значительные площади были повреждены огнем в 1938 году, в конце 70-х годов, в 1988 г. и 2010 г. В настоящее время покрытая лесом площадь составляет 89,9% территории. Усилия по улучшению биоразнообразия путем восстановления или сохранения могут быть затруднены, если решения основаны исключительно на современной ландшафтной структуре, а не на историческом подходе [9]. Эта структура может помочь определить наиболее подходящий набор стратегий сохранения с учетом экологических ограничений [10]. Целью данной работы является оценка степени антропогенного воздействия на ландшафты заповедника и выявление особенностей динамики их восстановления.

Материалы и методы исследования

Ландшафтная карта заповедника составлена по методике Исаченко А.Г., Прокаева В.И. [8]. Методика картографирования типов и групп фаций рассмотрена в работах ряда авторов [11], [12]. Основными объектами изучения и картографирования служат типологические единицы классификации фаций, предложенной В.И. Прокаевым [11]. Данная классификация пятиступенная: класс – подкласс – род – группа – вид фаций. Для создания ландшафтной карты использованы аэрофото- и космические снимки, проанализированы описания около 250 фаций по 13 профилям и маршрутам.

Род фаций объединяет сходные группы фаций, приуроченные к однотипным положительным или отрицательным формам мезорельефа или к их частям. Основной единицей детального ландшафтного картографирования является группа фаций, тогда как род фаций в силу относительной гетерогенности, играет роль упорядочения многочисленных групп фаций путем установления их связей с формами мезорельефа. Группа фаций объединяет сходные виды фаций, близкие по местоположению, ландшафтообразующим свойствам горных пород, по гидрологическим, почвенным и геоботаническим особенностям. Их можно картографировать только в очень крупных масштабах. При ландшафтном картографировании классы коренных и производных фаций обозначаются римскими цифрами. На карте классы и подклассы обозначены линиями границ, роды фаций – прописными буквами русского алфавита, группы – арабскими цифрами и цветом, подбор которого осуществлялся автоматически при составлении в программе ArcView. Полные индексы групп фаций выглядят так: I Аз, I В4 и так далее. Мелкоконтурные группы фаций, которые не могут быть изображены при использовании топоосновы государственных съемок в масштабе 1:25000, объединяются в дополнительную специфическую картографическую единицу – сочетание групп фаций. В их обозначениях указывается, из каких фаций состоит данное сочетание, например, В₂₊₃. При изучении антропогенных изменений природных комплексов в качестве теоретической базы использована классификация антропогенных модификаций коренных и условно-коренных фаций, основанная на степени отклонения их свойств от состояния коренных ландшафтных геоконплексов. По данному признаку модификации делятся на пять классов [6]. Вследствие того, что границы антропогенных модификаций не совпадают с границами условно-коренных фаций, они отражены на ландшафтной карте путем наложения их контуров на выделы типов условно-коренных фаций. Антропогенные модификации изображены на карте оранжевым цветом, а антропогенные фации – красным. В индексе антропогенных модификаций сверху ставится строчная буква «а»; антропогенные фации показаны жирным шрифтом, например А1+2.

Основные результаты

Для более подробной визуализации размещения антропогенных модификаций в настоящей работе приведен увеличенный фрагмент карты южной части заповедника, где выявлено максимальное количество антропогенных изменений, возникших в результате разнообразной хозяйственной деятельности (Рис. 1). В легенде приведены описания только тех групп фаций, которые изображены на рисунке.

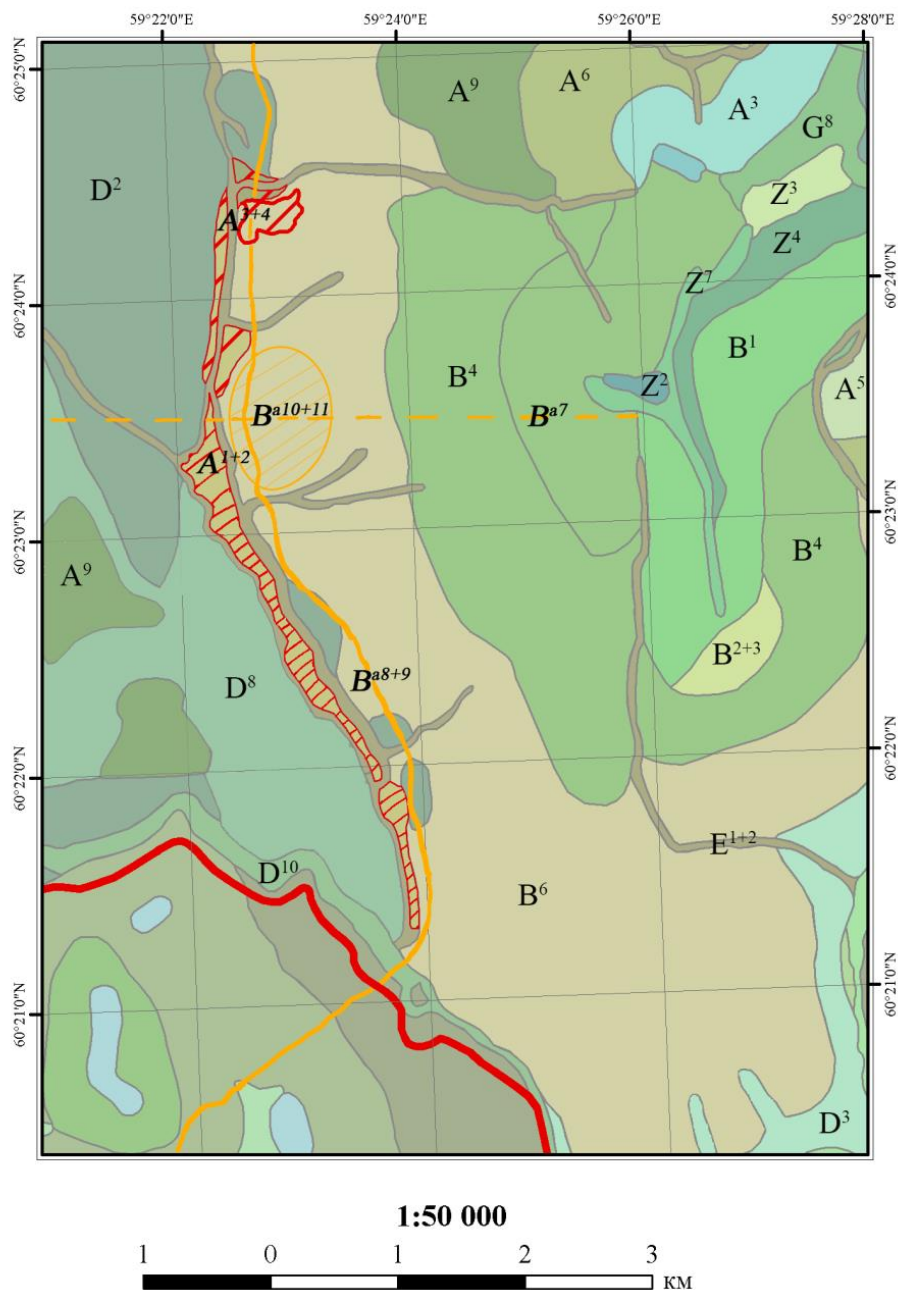


Рис. 1 – Фрагмент ландшафтной карты территории заповедника «Денежкин камень»

Условные обозначения:

I – горно-таежные фации среднетаежного типа структуры высотной поясности Восточно-русского подсектора среднегорий Северного Урала.

I A³ – крутые склоны массивов, сложенные габброидами, кварцитами, часто обнажающимися в виде крупных камней, главным образом южной и юго-восточной экспозиции в средне-верхней части склона, с горно-лесными бурями фрагментарными почвами, с суховатыми ельниками-сосняками и почти исключительно с кедровником нагорным.

I A⁵ – покатые склоны массивов в верхней и средне-верхней частях пояса по периферии обнаженных курумов из тех же пород, со слабо подзолистыми среднемощными сильно каменистыми почвами, с устойчиво свежими ельниками, преимущественно мшисто-мелкотравными и зеленомошно-брусничниковыми.

I A⁶ – покатые склоны горных массивов южной и юго-западной экспозиции в средней части пояса, сложенные теми же породами, изредка выходящими на поверхность в виде камней, с горно-лесными бурями оподзоленными или с признаками оподзоливания среднемощными среднещебенистыми почвами, со свежими ельниками, главным образом зеленомошно-разнотравными.

I A⁹ – пологие нижние и приподошвенные склоны массивов, сложенные ультраосновными, основными (пироксенитами, габброидами) и кислыми (кварцитами, песчаниками) породами, с горно-лесными средне- и слабоподзолистыми оглееными мощными среднещебенистыми почвами, с устойчиво влажными ельниками, почти исключительно зеленомошно-черничниковыми.

I B – низкие (абсолютные высоты 400-600 м, превышение 150-250 м) пологосклонные кряжи и увалы, сложенные наиболее прочными разностями амфиболитов и пироксенитов, очень редко выходящими на поверхность в виде камней и щебня.

I B¹ – сильно покатые, привершинные склоны кряжей, сложенные габброидами и кварцитами, с частыми выходами их на поверхность в виде камней с горно-лесными бурыми маломощными сильно дресвянисто-щебенистыми почвами, с суховатыми сосняками, главным образом, нагорными.

I B²⁺³ – плосковыпуклые вершины, сложенные габброидами и кварцитами часто обнажающимися в виде россыпей камней и выходов крупных скал: B² – скалы высотой 5-10 м северной и южной экспозиции. B³ – плосковыпуклые вершины с курумами у подножья скал и прилегающие к ним пологие склоны с горно-лесными бурыми очень маломощными сильно каменистыми почвами, с суховатыми сосняками и ельниками зеленомошно-черничниково-голубичными на западном склоне, а на восточном – преимущественно с сосняком лишайниково-брусничниковым.

I B⁴ – покатые средние и средне-верхние части склонов кряжей, сложенные как кислыми интрузивными породами, так и базальтовыми порфиритами и их туфами, очень редко обнажающимися в виде камней, с горно-лесными бурыми маломощными сильнощебенистыми почвами, со свежими сосняками – ельниками, главным образом, зеленомошно-ягодниковыми.

I B⁶ – пологие нижние части склонов кряжей, сложенные теми же породами, очень редко выходящими на поверхность в виде камней, с горно-лесными слабо- и среднеподзолистыми среднемощными среднещебенистыми почвами, с устойчиво влажными ельниками, преимущественно мшисто-травяными и крупнотравными в переувлажненных местах.

ID² – очень пологие приподошвенные склоны горных массивов с мощным покровом каменисто-суглинисто-щебенистого делювия, с сильно подзолистыми оглеенными мощными среднещебенистыми почвами, с устойчиво сырыми типами ельников, преимущественно долгомошно-сфагновыми.

ID³ – ровные, близкие к горизонтальным высокие поймы и участки первых надпойменных террас в пределах межгорных депрессий, сложенные глинисто-песчано-галечными аллювиальными отложениями, с торфяно-болотными оподзоленными, очень мощными слабощебенистыми почвами, с устойчиво сырыми типами ельников, преимущественно, мшисто-хвощевыми.

ID⁴ – очень пологие склоны депрессий с моренными каменисто-глинистыми отложениями, обильно увлажненными делювиальными водами, со слабо подзолистыми почвами, с влажными периодически сырыми ельниками, главным образом, высокотравно-папоротниковыми.

IE¹⁺² – каменистые, порожистые, крутопадающие, слабо разработанные в ширину русла горных участков речных долин с довольно быстрым течением (больше 0,5 м/с) и относительно глубокие (0,8-1,5 м) участки русел горных рек, преимущественно в пределах межгорных депрессий, с песчано-галечниковым дном и относительно спокойным течением (до 0,5 м/с).

II – подгольцовые фации среднетаежного типа структуры высотной поясности Восточно-Русского подсектора среднегорий Северного Урала.

II G⁸ – пологие и слабо покатые склоны и седловины с делювиальными и моренными суглинками, с дерново-среднеподзолистыми среднещебенистыми почвами, со свежими устойчиво влажными подгольцовыми мелколесьями, почти исключительно с березово-еловыми мелколесьями вейниково-разнотравными и крупнотравными, а в местах периодически увлажняемых делювиальными водами с березняком крупноподорожниковым и ивняком высокотравным.

II Z² – плоские вершины кряжей и прилегающие к ним пологие склоны, часто обнажающиеся в виде камней и их россыпей, сложенные теми же породами, со слабоподзолистыми маломощными очень сильно каменистыми почвами, со свежими стланиковыми ассоциациями и мелколесьями с преобладанием елово-кедрового стланика мохово-лишайникового.

II Z³ – пологосклонные приводораздельные участки хребтиков, сложенные дунитами, с их выходами на поверхность в виде камней и щебня, с пятнами мелкозема в расщелинах между камней, с отдельными скальными и горно-степными видами трав и накипными лишайниками, с преобладанием лецидиево-аспицилиевых сообществ.

II Z⁴ – покатые и умеренно крутые привершинные склоны хребтов, сложенные теми же породами, изредка выходящими на поверхность в виде щебня на мерзлотно-солифлюкционных террасах, с горно-лесными бурыми среднемощными слабощебенистыми почвами, с суховатыми подгольцовыми мелколесьями: на наветренных склонах преимущественно с листовичным редколесьем лишайниковым, а на подветренных склонах, в основном, с березовым кривокошным лишайниково-голубичным, а также с кустарниково-кустарничковыми сообществами.

II Z⁷ – крупные скалы высотой более 5 м, сложенные наиболее прочными разностями интрузивных пород основного и ультраосновного состава с мохово-лишайниково-ягодниковыми сообществами на склонах южной экспозиции и в понижениях между ними, и ризокарпон-умбликариевыми сообществами на склонах северной экспозиции.

Антропогенные модификации условно-коренных фаций:

B^{a7} – вторичные березовые и елово-березовые молодые и средневозрастные леса средней полноты, возобновляющиеся со сменой пород после сплошной и выборочной рубок на зарастающих просеках.

B^{a8+9} – молодняки, мелколесья и смешанные редколесья с густыми кустарниковыми зарослями из малины и ракитника по окраинам грунтовых дорог, с сильно разрушенной лесной подстилкой и уплотненной почвой, в результате транспортной дигрессии, с преобладанием в травяном покрове сорных и придорожных видов.

B^{a10+11} – луга и залежи на месте населенных пунктов сельского типа с прилегающими сельскохозяйственными угодьями: B¹⁰ – зарастающие сенокосные луга с высокотравной растительностью по понижениям и злаково-разнотравной растительностью, зарослями малины, березовыми, еловыми и сосновыми молодняками и жердняками в нижних пологих частях склонов кряжей на месте ельников мшисто-травяных и крупнотравных. B¹¹ – луговая и сорная растительность на месте населенных пунктов с несплошной застройкой, огородов и приусадебных участков.

Антропогенные фации:

A¹⁺² – «свежие» и «молодые» участки дражного полигона в поймах и на надпойменных террасах, представляющие собой сочетание валунно-галечных мелкозернистых крутосклонных отвалов с островершинными и плосковершинными

поперечными гребнями со сформированным мохово-лишайниковым покровом с еловыми и ольховыми молодняками и жердняками на пологих склонах отвалов вблизи озер-разрезов и в заиленных межотвальных понижениях.

A^{3+4} – участки дражного полигона, представляющие собой сочетание галечно-валунных средне- и сильноизмененных «зрелых» отвалов с поперечными гребнями в форме плосковыпуклых гряд, с кедрово-сосново-еловыми неравномерно сомкнутыми средневозрастными редкотравными и елово-березовыми хвощево-крупнотравными по днищам заиленных межотвальных понижений и «зрелых» озер-разрезов с прозрачной водой и сформировавшимися водными биоценозами.

Обсуждение

В результате исследований, проведенных в заповеднике в 1992-1997 и в 2002-2014 годах построена ландшафтная карта территории. Она находится в пределах таежной области Урала, ландшафтной провинции среднегорной полосы Северного Урала. Фации горной полосы Урала на исследуемой территории отнесены к одному классу среднетаежного типа структуры высотной поясности Восточно-Русского подсектора среднегорий Северного Урала. В этом классе на склонах гор по высотно-поясным признакам выделены подклассы фаций: горно-таежный, подгольцовый и горно-тундровый, к которым относятся фации одного высотного пояса. Среди них в подклассе горно-таежных фаций выделены роды высоких горных массивов с абсолютными высотами более 900 м (I A), низких расчлененных кряжей с абсолютными высотами 700-900 м (I B), межгорных депрессий и днищ долин горных рек (ID), русел горных рек и речек с довольно быстрым течением (IE). Подкласс подгольцовых фаций расположен на склонах высоких горных массивов выше 900 м (II G), и на вершинах низких расчлененных кряжей с высотами 800-900 м (II Z).

На изучаемой территории выявленные антропогенные модификации относятся к классам средне- и сильноизмененных фаций. Их возникновение связано с хозяйственной деятельностью в периоды отсутствия заповедного режима: строительством поселков и их жизнеобеспечением, с существованием спецпоселений и занятостью ссыльных. К средне-измененным фациям относятся участки зарастающих просек, лугов и лесных дорог на месте коренных лесов. Антропогенные модификации расположены в нижних пологих частях склонов кряжей (группа фаций B6), межгорных депрессиях и долинах рек ($D^2 - D^4$; E^{1+2}). Леса вырубались на ограниченных площадях для строительства и на вывоз. В связи с длительным отсутствием хозяйственных работ, их восстановление происходило естественным путем до условно коренных фаций. При заповедном режиме ограничен объем лесоустроительных работ, поэтому для основной части существовавших просек характерны разные стадии зарастания (B^{a7}). Основная дорога, которая эпизодически используется и в настоящее время, соединяла реки Сосьва и Шарп, проходила в нижней части западного склона г. Денежкин камень. Она находится в разной степени зарастания вторичной древесной и травянистой растительностью. Поселение Сольва прекратило существование в середине 20 в., однако, до начала 90хгг. его территория использовалась как объект туризма. Здесь все еще сохранились сенокосные зарастающие луга с высокотравной и разнотравной растительностью (B^{a10+11}), относящиеся к классу сильно измененных фаций. Следы пожаров 20 века на территории заповедника слабо заметны, т.к. на их месте уже сформировались средневозрастные древесные насаждения. Пирогенные комплексы, образовавшиеся в результате пожаров 2010 года, занимают северо-восточный угол заповедника. Значительно измененные пожаром склоны и вершина г. Журавлев Камень в настоящий момент восстанавливаются: на месте сосняков зеленомошно-ягодниковых произрастают молодняки из сосны и березы с вейниковым и вейниково-высокотравным травяным покровом.

Антропогенные фации, относящиеся к техногенным объектам горно-добывающей промышленности, – дражные полигоны, представлены в пойме и на надпойменных террасах среднего и нижнего течения реки Сольва. Они относятся именно к антропогенным фациям, поскольку изменена геолого-геоморфологическая основа долины реки. В связи с промышленным разработкой в разное время полигоны находятся в разной степени освоения растительностью. Общая площадь антропогенных модификаций на территории заповедника составляет 0,4%, антропогенных фаций – 0,1%.

Заключение

На основе ландшафтной карты произведена оценка степени антропогенного воздействия на коренные фации. Основная масса производных фаций расположена в нижней части горно-таежного пояса и межгорных депрессиях. На территории выявлены как условно-коренные фации и их антропогенные модификации, так и антропогенные фации. При более чем 30-летнем заповедном режиме охраны и длительном отсутствии хозяйственного воздействия на значительных площадях произошло восстановление условно-коренных фаций. Антропогенные ландшафты на территории представлены дражными полигонами вдоль рек. История, способ возникновения и географическое положение позволяют рассматривать их как модельные для изучения развития антропогенных ландшафтов дражных участков Северного Урала. Качественные изменения во времени дают возможность проследить и сравнить динамику естественных, антропогенных модификаций и антропогенных фаций в однородных условиях.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Bastian, O. The significance of geosystem and landscape concepts for the assessment of ecosystem services: exemplified on a case study in Russia / O. Bastian, K. Grunewald, A.V. Khoroshev // *Landscape Ecology* 30. -2015. - № 7, P. 1145-1164. DOI<https://doi.org/10.1007/s10980-015-0200-x>
2. Forman, R. Some General Principles of Landscape and Regional Ecology. / R. Forman // *Landscape Ecology*. – 1995 – № 10 (3) –P. 133-142.
3. Khoroshev, A. Multiscale Organization of Landscape Structure in the Middle Taiga of European Russia / A.V. Khoroshev // *Landscape Online*. – 2019. – № 66. – P. 1-19. DOI<https://doi.org/10.3097/LO.201966>

4. Vaz, E. The future of landscapes and habitats: The regional science contribution to the understanding of geographical space / E. Vaz // *Habitat International*. – 2016 – №51. – pp. 70-78. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.10.004>
5. Pickell, Paul D. Monitoring anthropogenic disturbance trends in an industrialized boreal forest with Landsat time series / Paul D. Pickell, T. Hermosilla, Nicholas C. Coops and others // *Remote Sensing Letters*. – 2014. – № 5 (Issue 9). – P. 783-792. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2014.967881>
6. Гурьевских, О. Ю. Оценка антропогенных модификаций природных комплексов при ландшафтном проектировании региональных систем ООПТ (на примере Свердловской области) / О. Ю. Гурьевских // *Вопросы степеведения*. – 2019. – №XV. – С. 82–87.
7. Лубенец, Л.Ф. Роль антропогенных модификаций в ландшафтно-гидрологической организации бассейна р. Майма / Л.Ф. Лубинец, Д.В. Черных // *Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11. Естественные науки*. – 2015. – № 1. – С. 61–67. doi: 10.15688/jvolsu11.2015.1.6.
8. Янцер, О. В. Ландшафтная структура территории заповедника «Денежкин камень» / О.В. Янцер, Н.В. Скок // *Вестник Забайкальского государственного университета* – 2014. – № 9(112). – С. 49-54.
9. Khoroshev, A.V. Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales: Landscape Series / A.V. Khoroshev, K. N. Dyakonov // *Springer International Publishing Series*. – 2020. – №26. – 439 p. DOI:10.1007/978-3-030-31185-8
10. Rappaport, D.I. Landscape approach: combining spatial and temporal dynamics to prioritize restoration and conservation / D.I. Rappaport, L.R. Tambosi, J.P. Metzger // *J Appl Ecol*. – 2015. – №52. – P. 590-601. DOI:10.1111/1365-2664.12405
11. Гурьевских, О. Ю. Физико-географическое районирование и ландшафты Свердловской области. / О.Ю. Гурьевских, В. Г. Капустин В. Г., Н.В. Скок, О. В. Янцер. – Екатеринбург: УрГПУ, 2016. – 280 с.
12. Прокаев, В. И. Об учете антропогенной дифференциации суши при физико-географическом районировании / В.И. Прокаев // *География и природные ресурсы*. – 1980. – № 2. С. 24-30.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bastian, O. The significance of geosystem and landscape concepts for the assessment of ecosystem services: exemplified on a case study in Russia / O. Bastian, K. Grunewald, A.V. Khoroshev // *Landscape Ecology* 30. – 2015. – № 7, P. 1145-1164. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0200-x>
2. Forman, R. Some General Principles of Landscape and Regional Ecology. / R. Forman // *Landscape Ecology*. – 1995 – № 10 (3) – P. 133-142.
3. Khoroshev, A. Multiscale Organization of Landscape Structure in the Middle Taiga of European Russia / A.V. Khoroshev // *Landscape Online*. – 2019. – № 66. – P. 1-19. DOI:10.1007/LO.201966
4. Vaz, E. The future of landscapes and habitats: The regional science contribution to the understanding of geographical space / E. Vaz // *Habitat International*. – 2016 – №51. – P. 70-78. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.10.004>
5. Pickell, Paul D. Monitoring anthropogenic disturbance trends in an industrialized boreal forest with Landsat time series / Paul D. Pickell, T. Hermosilla, Nicholas C. Coops and others // *Remote Sensing Letters*. – 2014. – № 5 (Issue 9). – P. 783-792. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2014.967881>
6. Gurievskikh, O. Yu. Ocenka antropogennykh modifikacij prirodnykh kompleksov pri landshaftnom pro-ektirovanii regional'nykh sistem OOPT (na primere Sverdlovskoj oblasti) [Assessment of anthropogenic modifications of natural complexes in landscape design of regional protected area systems (on the example of the Sverdlovsk region)] / O. Yu. Gurievskikh, // *Voprosy stepovedeniya* [Questions of steppe studies]. – 2019. – №XV. – P. 82–87. [in Russian]
7. Lubenets, L.F. Rol' antropogennykh modifikacij v landshaftno-gidrologicheskoy organizacii bassejna r. Majma [The role of anthropogenic modifications in landscape and hydrological organization of Mayma river basin] / L.F. Lubenets, D.V. Chernykh // *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 11. Estestvennye nauki* [Bulletin of the Volgograd State University. Ser.1 (11), Natural Sciences]. – 2015. – № 1. – P. 61–67. doi: 10.15688/jvolsu11.2015.1.6. [in Russian]
8. Yantser, O.V. Landshaftnaja struktura territorii zapovednika «Denezhkin kamen'» [The landscape structure of the territory reserve «Denezhkin kamen'»] / O. V. Yantser, N. V. Skok // *Vestnik Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Trans-Baikal State University] – 2014. – № 9(112). – P. 49-54. [in Russian]
9. Khoroshev, A.V. Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales: Landscape Series / A.V. Khoroshev, K. N. Dyakonov // *Springer International Publishing Series*. – 2020. – №26. – 439 p. DOI:10.1007/978-3-030-31185-8
10. Rappaport, D.I. Fiziko-geograficheskoe rajonirovanie i landshafty Sverdlovskoj oblasti [Landscape approach: combining spatial and temporal dynamics to prioritize restoration and conservation] / D.I. Rappaport, L.R. Tambosi, J.P. Metzger // *J Appl Ecol*. – 2015. – №52. – P. 590-601. DOI:10.1111/1365-2664.12405
11. Gurievskikh, O. Yu. Physical and geographical zoning and landscapes of the Sverdlovsk region. / O. Yu. Gurievskikh, V. G. Kapustin, N. V. Skok, O. V. Yantser. – Yekaterinburg: Ural State Pedagogical University, 2016. – 280 p. [in Russian]
12. Prokaev, V. I. Ob uchete antropogennoj differenciacii sushi pri fiziko-geograficheskom rajonirovanii [On accounting for anthropogenic land differentiation in physical and geographical zoning] / V. I. Prokaev // *Geografija i prirodnye resursy* [Geography and natural resources]. – 1980. – № 2. P. 24-30. [in Russian]

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.024>

МАСС-СПЕКТРОСКОПИЯ АДДУКТОВ СВОБОДНЫХ РАДИКАЛОВ И ИМИНОКСИЛЬНЫХ РАДИКАЛОВ РЯДА 6-ГИДРОКСИПИРИМИДИН-4(3Н)-ОНОВ

Научная статья

Бу К.Т.¹, Юдин Н.В.^{2,*}, Фенин А.А.³¹ ORCID: 0000-0002-4989-7053;² ORCID: 0000-0003-4847-9105;³ ORCID: 0000-0002-5193-3607;^{1, 2, 3} Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

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

Аннотация

Изучена масс-спектрометрия при ионизации электрораспылением (ESI) и диссоциация индуцированная соударением (CID) аддуктов, образованных при взаимодействии свободных радикалов 2-замещенных 6-гидроксиимидин-4(3Н)-онов и иминоксильных радикалов ряда 6-гидроксиимидин-4(3Н)-онов. Показано, что для них характерно образование однозарядных моно-, ди- и тримерных протонированных и депротонированных ионов вида $[n \cdot M + H]^+$ и $[n \cdot M - H]^-$, где $n=1-3$. При отрицательной ионизации наблюдается отщепление OH^- радикала с формированием ионов $[n \cdot M - OH]^-$ ($n=1-3$). В положительном режиме происходит гидратация с образованием ионов $[n \cdot M + H_3O]^+$ ($n=1-3$). Фрагментация аддуктов происходит по единому механизму, первой стадией которого является отщепление N-оксидного кислорода в виде гидрокси-радикала, затем следует фрагментация диоксоимидинового цикла в конечном итоге приводящая к бициклической структуре.

Ключевые слова: 6-гидроксиимидин-4(3Н)-он, иминоксильные радикалы, аддукты, масс-спектрометрия, диссоциация индуцированная соударением.

MASS SPECTROSCOPY OF ADDUCTS OF FREE RADICALS AND IMINOXYL RADICALS OF 6-HYDROXYPYRIMIDINE-4(3H)-ONES

Research article

Vu K.T.¹, Yudin N.V.^{2,*}, Fenin A.A.³¹ ORCID: 0000-0002-4989-7053;² ORCID: 0000-0003-4847-9105;³ ORCID: 0000-0002-5193-3607;^{1, 2, 3} D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

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

Abstract

The current article examines mass spectroscopy of electrospray ionization (ESI) and collision-induced dissociation (CID) of adducts formed by the interaction of free radicals of 2-substituted 6-hydroxypyrimidine-4(3H)-ones and iminoxyl radicals of 6-hydroxypyrimidine-4(3H)-ones. It is shown that they are characterized by the formation of single-charged mono-, di- and trimeric protonated and deprotonated ions of the form $[n \cdot M + H]^+$ and $[n \cdot M - H]^-$, where $n=1-3$. With negative ionization, the cleavage of the OH^- radical is observed with the formation of $[n \cdot M - OH]^-$ ($n=1-3$) ions. In the positive mode, hydration occurs with the formation of $[n \cdot M + H_3O]^+$ ions ($n=1-3$). Fragmentation of adducts occurs by a single mechanism, the first stage of which is the cleavage of N-oxide oxygen in the form of hydroxyl radical followed by fragmentation of the dioxypyrimidine cycle, eventually leading to a bicyclic structure.

Keywords: 6-hydroxypyrimidine-4(3H) - oh, iminoxyl radicals, adducts, mass spectroscopy, collision-induced dissociation.

Введение

Производные пиридина относятся к важнейшим биохимическим структурам и этим привлекают постоянный интерес исследователей. Среди них можно выделить аналог урацила - 4,6-дигидроксиимидин (6-гидроксиимидин-4(3Н)-он, **1a**). К его производным относится хорошо известная барбитуровая кислота (**1b**). В последнее время в ряду производных 4,6-дигидроксиимидина найдены новые соединения, обладающие фермент-ингибирующей активностью [1], [2]. Нитрованием **1a** предложено получать нитроформ [3]. Способ получения малочувствительного взрывчатого вещества 1,1-диамино-2,2-динитроэтилена основан на нитровании 6-гидрокси-2-метилпиридин-4(3Н)-он (**1c**) [4].

В предлагаемой работе представлены результаты масс-спектрометрического исследования мурексидо-подобных аддуктов, образующихся при катион-радикальном нитровании, нитрозировании и одноэлектронном окислении производных 6-гидроксиимидин-4(3Н)-она в среде трифторуксусной кислоты (ТФУК).

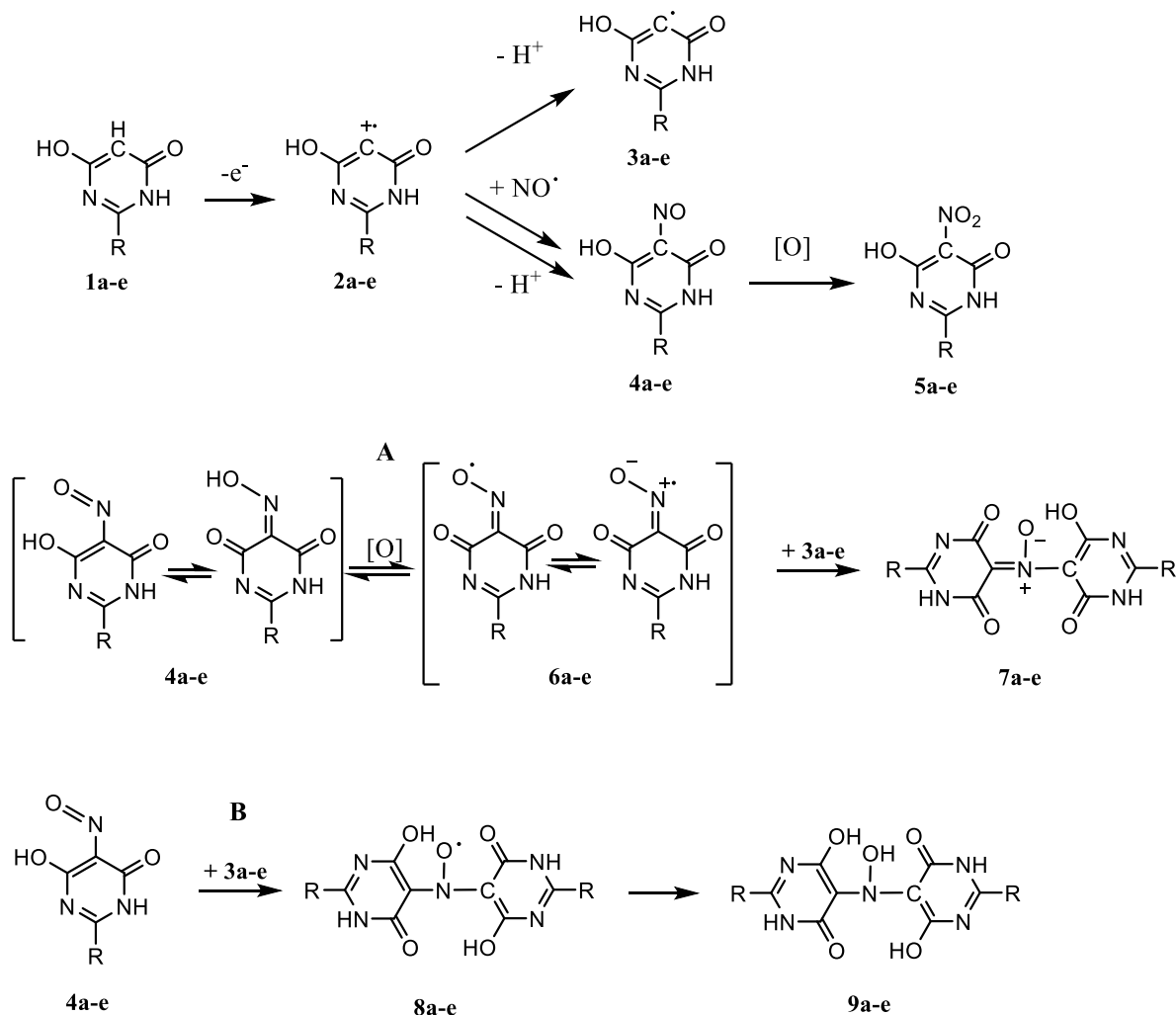
Методы исследования

Исследование проводили с помощью жидкостной хромато-масс-спектрометрии (ЖХМС) при ионизации электрораспылением (ESI) в формиатно-аммиачном буфере при pH = 4,5. Для определения путей фрагментации использовали режим MSⁿ с диссоциацией вызванной соударением (CID) при энергии 18 – 36 eV и, в ряде случаев, меченные изотопом азота N¹⁵ нитрозосоединения.

Результаты и обсуждение

Образование аддуктов **7a-e** протекает в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1. На первой стадии происходит окисление пириимидина **1a-e** до катиона-радикала **2a-e**. В условиях нитрования и нитрозирования окислителем служит ион нитрозония. В первом случае, при нитровании изопропилнитратом в среде ТФУК, азотистая кислота первоначально выделяется при его кислотно-катализируемом разложении и, далее, накапливается в ходе окислительных процессов.

Образовавшийся катион-радикал может быть превращен в нитрозо-соединение **4a-e** или нитросоединение **5a-e** при взаимодействии с NO^\cdot или NO_2^\cdot , либо депротонирован с образованием радикалов **3a-e**. Нитросоединения также образуются в результате окисления нитрозопроизводных.



a - R=H, b - OH, c - CH₃, d - C₂H₅, e - CH(CH₃)₂

Рис. 1 – Схема образования нитрозосоединений **4a-e**, нитросоединений **5a-e**, аддуктов **7a-e** и гидросиламинов **9a-e**

5-нитрозопроизводные **4a-e** находятся в равновесии с оксимой формой, в результате ее окисления образуются иминоксильные радикалы (ИР) **6a-e**, что подтверждено ЭПР спектроскопией (таблица 1). Следует отметить, что при нитровании образование аддуктов происходит после индукционного периода связанного с накоплением оксидов азота и нитрозосоединений.

Таблица 1 – Спектральные параметры ЭПР иминоксильных радикалов **6a-f**

Соединение	Эксперимент		Расчет		Литература [5]*	
	g	a ^N , Гс	g	a ^N , Гс	g	a ^N , Гс
6a	2,0042	31,0	2,0036	31,0	-	-
6b	2,0039	32,5	2,0037	30,3	2,0047	31,71
6c	2,0037	32,0	2,0036	31,1	-	-
6d	2,0044	31,0	2,0036	31,0	-	-
6f	2,0056	32,6	2,0036	31,0	-	-

Примечание: * – в водном растворе при pH = 4,5

Образование аддуктов **7a-e** является результатом взаимодействия иминоксильных радикалов **6a-e** с радикалами исходных соединений **3a-e**, рисунок 1, маршрут «А». Они, в отличие от других продуктов нитрования и нитрозирования,

имеют максимум поглощения в видимой области спектра, что позволяет надежно идентифицировать их на хроматограмме или в реакционной массе. При уменьшении кислотности среды спектральная полоса претерпевает батохромный сдвиг, таблица 2, рисунок 4. Аддукты **7a-e** достаточно устойчивы в растворе в ТФУК, в водно-ацетонитрильных буферных растворах (pH ~ 4.5) стабильны от 5 мин до 48 часов при комнатной температуре. Гидроксиламины **9a-e** являются продуктами превращения нитроксильных радикалов, образованных в параллельном процессе по маршруту «В» в результате взаимодействия радикалов **3a-e** с нитрозопроизводными **4a-e**.

При введении в систему 4-гидрокси-5-нитрозо-6-оксо-1,6-дигидропиримидин-2-карбальдегид оксима (**4f**) индукционный период отсутствует, образующиеся радикалы быстро перехватываются ИР **6f** с образованием аддуктов **7f-j** и процесс идет по схеме, приведенной на рисунке 2.

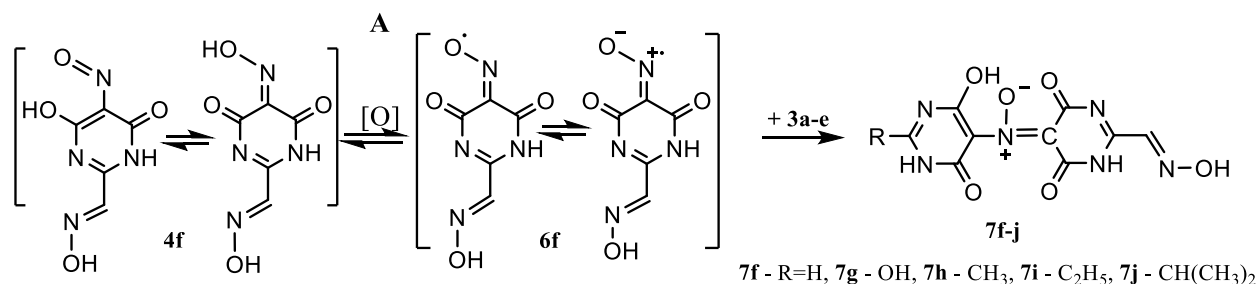


Рис. 2 – Схема образования аддуктов **7f-j** при взаимодействии радикалов **3a-e** с ИР **6f**

Аналогичный результат дает использование окислителей: диоксида свинца и солей церия (IV) которые имеют стандартный окислительно-восстановительный потенциал выше, чем у NO^+ ($E^\circ(\text{NO}^+/\text{NO}) = 1.45 \text{ В}$, $E^\circ(\beta\text{-PbO}_2/\text{Pb}^{2+}) = 1.46 \text{ В}$, $E^\circ(\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}) = 1.61 \text{ В}$). Использование AgClO_4 ($E^\circ(\text{Ag}^+/\text{Ag}) = 0.80 \text{ В}$, как окислителя с низким потенциалом не приводит к образованию аддуктов.

На масс-спектрах ESI аддукты, как правило, наблюдаются в виде протонированных $[\text{M}+\text{H}]^+$ и депротонированных $[\text{M}-\text{H}]^-$ ионов. Для них характерно образование кластеров вида $[\text{n} \cdot \text{M}+\text{H}]^+$ и $[\text{n} \cdot \text{M}-\text{H}]^-$, $\text{n}=2, 3$. Наблюдается отщепление OH^\cdot радикала с формированием ионов $[\text{M}-\text{OH}]^-$ и образование гидратированных протонированных ионов $[\text{M}+\text{H}_3\text{O}]^+$. Указанные ионы также образуют кластеры $[\text{n} \cdot \text{M}-\text{OH}]^-$ и $[\text{n} \cdot \text{M}+\text{H}_3\text{O}]^+$, $\text{n}=2, 3$.

Таблица 2 – Псевдомолекулярные ионы и положения максимума поглощения в электронных спектрах аддуктов **7a-j**

Аддукт	$\lambda_{\text{max.}}$, нм	+ ESI $[\text{M}+\text{H}]^+$	- ESI $[\text{M}-\text{H}]^-$	Аддукт	$\lambda_{\text{max.}}$, нм	+ ESI $[\text{M}+\text{H}]^+$	- ESI $[\text{M}-\text{H}]^-$
7a	513	-	-	7f	513	-	-
7b	513	-	282	7g	513	311	309
7c	513	-	-	7h	517	309	307
7d	518	-	-	7i	530	323	321
7e	518	-	-	7j	517	337	335

Зарегистрированные псевдомолекулярные ионы и максимумы поглощения в видимой области спектра (в растворе в трифторуксусной кислоте) приведены таблице 2, характерный масс-спектр на рисунке 3, характерные УФ-видимые спектры на рисунке 4.

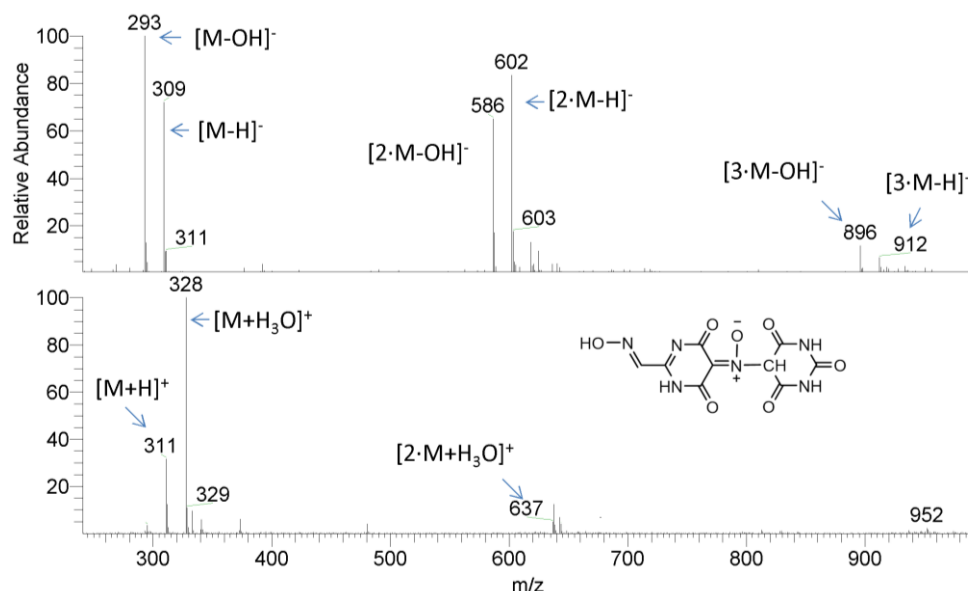


Рис. 3 – Масс-спектр ESI аддукта **7g**:
сверху – отрицательные ионы; снизу – положительные ионы

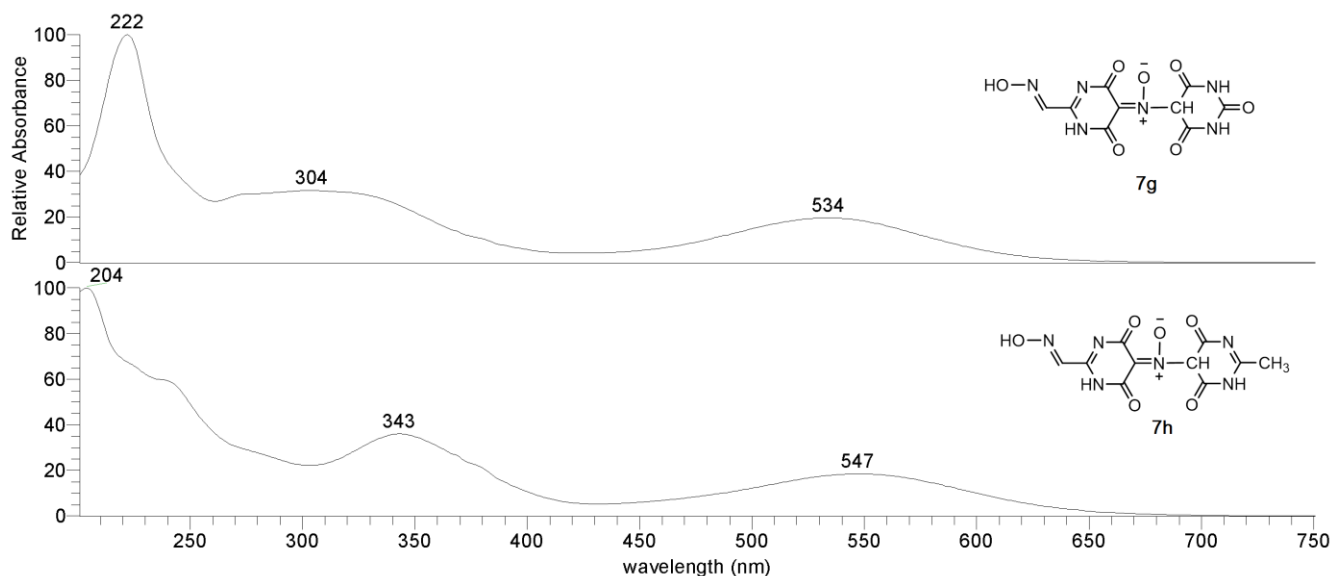


Рис. 4 – УФ-вид спектры аддуктов **7g** и **7h** при pH=4,5 в водно/ацетонитрильном формиатно-аммиачном буфере

Строение аддуктов **7a-j** близко к известному аддукту, образованному иминоксильным радикалом виолуровой кислоты и вератриловым спиртом [6] и их фрагментация также описывается схемой с образованием циклических структур [7], [8]. Кроме того, изучение фрагментации полученных аддуктов и сравнение с фрагментацией аналогичных по структуре соединений [6] и мурексиды [9] также демонстрирует схожий путь.

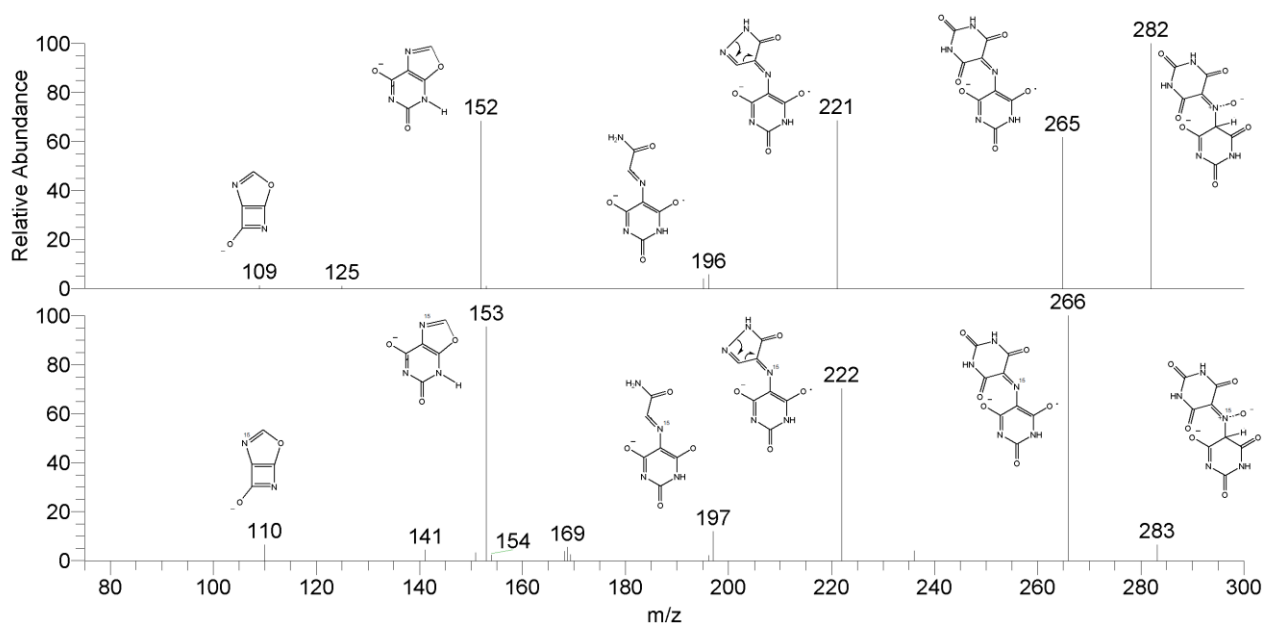
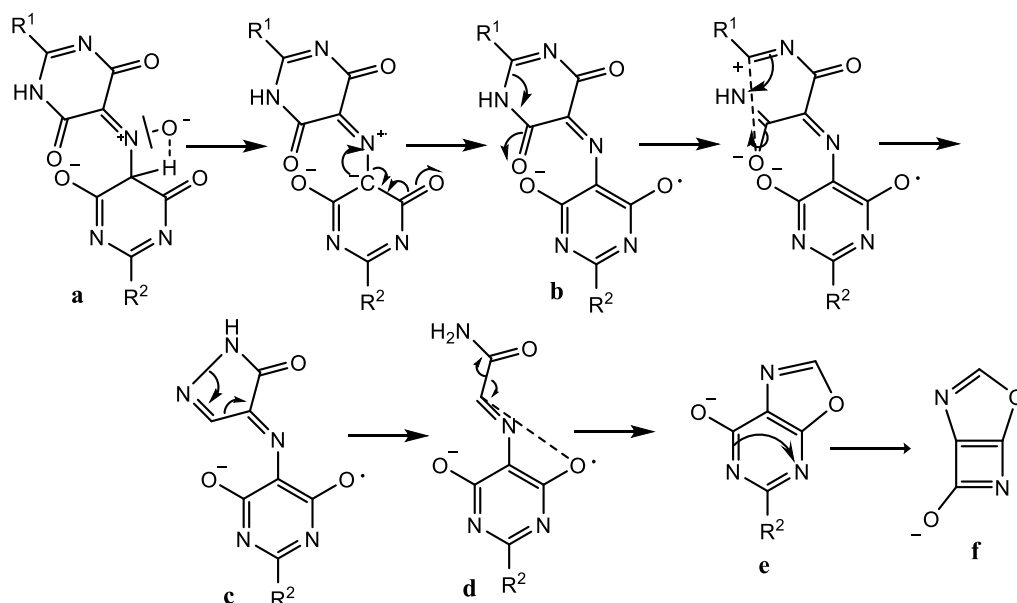


Рис. 5 – Масс-спектр MS² аддукта **7b**. Сверху – CID 20eV;
снизу – изотопно-меченный, CID 25eV; Родительские ионы с m/z 283 и 283 соответственно

Наши исследования, проведенные с меченными N¹⁵ по нитрозогруппе виолуровой кислоты и 6-гидрокси-2-метил-5-нитрозо-пиримидин-4(3H)-оном, подтверждает такую схему фрагментации. Для изотопно-меченных соединений изменение m/z ключевых ионов соответствует предполагаемой структуре, рисунок 5.

Таким образом, при масс-спектропии фрагментация аддуктов **7a-j** происходит по единому механизму, приведенному на рисунке 6.

На начальной стадии фрагментации родительского иона **a** происходит отщепление радикала OH[•] с образованием мурексидо-подобного анион-радикала или катион-радикала **b** (в зависимости от полярности наблюдаемых ионов). Такой ход фрагментации характерен для N-оксидов [10], [11]. Затем происходят превращения диоксопиримидинового цикла, которые, в итоге, приводит к бициклическому иону **f**.

Рис. 6 – Схема фрагментации аддуктов **7** в отрицательных ионах

Заключение

Проведенное исследование показало возможность взаимодействия радикалов 2-алкилзамещенных 4,6-дигидроксиимидинов с иминоксильными радикалами ряда 4,6-дигидроксиимидинов с образованием мурексидо-подобных аддуктов. Фрагментация полученных соединений происходит по единому механизму, первой стадией которого является отщепление N-оксидного кислорода в виде гидрокси-радикала.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Muhammad M. T. Syntheses of 4, 6-dihydroxypyrimidine diones, their urease inhibition, in vitro, in silico, and kinetic studies / M. T. Muhammad, K. M. Khan, A. Khan et al. // *Bioorganic chemistry*. – 2017. – V. 75. – P. 317–331.
2. Jansa P. 5-Substituted 2-amino-4,6-dihydroxypyrimidines and 2-amino-4,6-dichloropyrimidines: synthesis and inhibitory effects on immune-activated nitric oxide production / P. Jansa, A. Holý, M. Dračinský et al // *Med. Chem. Res.* – 2014. – V. 23. – P. 4482–4490.
3. Fu-qiang BI. Study on the Preparation Technique of Nitroform with High Security / F. Bi, B. Wang, X.G. Wang et al // *Chinese Journal of Explosives and Propellants*. – 2010. – V. 33. – №3. – P. 14 – 17.
4. Bellamy A. J. FOX-7 (1,1-Diamino-2,2-dinitroethene) / A. J. Bellamy // *Structure and Bonding, High Energy Density Materials*: – Berlin: Springer-velag Heidelberg., 2007. – V. 125. – P. 1 - 33.
5. Kim H.C. Molecular origin of the stability of violuric acid radicals at high pH-values / H.C. Kim, M. Mickel, N. Hampp // *Chemical physics letters*. – 2003. – V. 371. – №3-4. – P.410-416.
6. Mickel M. Origin of the mediator losses in electrochemical delignification processes: primary and secondary reactions of violuric acid and N, N'-dimethylvioluric acid radicals with lignin model compounds / M. Mickel, H.C. Kim, N. Hampp // *Green Chemistry*. – 2003. – V. 5. – №1. – P.8-14.
7. Demarque D. P. Fragmentation reactions using electrospray ionization mass spectrometry: an important tool for the structural elucidation and characterization of synthetic and natural products / D. P. Demarque, A. E. Crotti, R. Vessecchi et al // *Natural Product Reports*. – 2016. – V. 33. – №3. – P.432-455.
8. Szostek B. Investigation of natural dyes occurring in historical Coptic textiles by high-performance liquid chromatography with UV–Vis and mass spectrometric detection / B. Szostek, J. Orska-Gawrys, I. Surowiec et al // *Journal of Chromatography A*. – 2003. – V.1012. – №2. – P. 179–192.
9. Degano I. HPLC-DAD and HPLC-ESI-Q-ToF characterisation of early 20th century lake and organic pigments from Lefranc archives / I. Degano, P. Tognotti, D. Kunzelman et al // *Heritage Science*. – 2017. – V. 5. – №1. – P. 1-15.
10. Zagorevskii D. A mass spectrometry study of tirapazamine and its metabolites: Insights into the mechanism of metabolic transformations and the characterization of reaction intermediates / D. Zagorevskii, M. Song, C. Breneman et al // *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*. – 2003. – V. 14. – №8. – P. 881-892.
11. Miao X. S. A tandem mass spectrometric study of the N-oxides, quinoline N-oxide, carbadox, and olaquinox, carried out at high mass accuracy using electrospray ionization / X. S. Miao, R. E. March, C. D. Metcalfe // *International Journal of Mass Spectrometry*. – 2003. – V. 230. – №2-3. – P.123-133.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.025>**РАЗРАБОТКА МЕТОДА УТИЛИЗАЦИИ АБГАЗНОЙ СОЛЯНОЙ КИСЛОТЫ И ХЛОРИСТОГО ВОДОРОДА**
Научная статья**Мурадов М.М.^{1,*}, Рустамова Г.С.², Велиева К.С.³, Назарова М.К.⁴, Гатамов М.М.⁵, Агаев А.А.⁶**¹⁻⁶ Сумгаитский Государственный Университет, Сумгаит, Азербайджанская Республика

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

Аннотация

Представленная работа посвящена непосредственному хлорированию ароматического ядра т.е. м-крезола в электрохимической системе (графитовый катод, анод ОРТА) в среде растворителя CCl_4 с генерируемым хлором при электролизе абгазной соляной кислоты полученного в качестве побочного продукта в химической промышленности. При проведении нами установлено оптимальный режим процесса хлорирования в электрохимической системе: концентрация HCl 15-30%, плотность тока 10-15 А/дм², температура 60-70°C, обеспечивающий выход по току 4-хлор 3-метил фенола и 4,6-дихлор 3-метил фенола соответственно 95%. Процесс хлорирования отвечает требованием «зеленой химии».

Ключевые слова: хлорирование, м-крезола, установка бездиафрагменного электролиза, абгазная соляная кислота, электроды, сила тока, выход продукта.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR UTILIZATION OF WASTE GAS HYDROCHLORIC ACID AND HYDROGEN CHLORIDE

Research article

Muradov M.M.^{1,*}, Rustamova G.S.², Velieva K.S.³, Nazarova M.K.⁴, Gatamov M.M.⁵, Agaev A.A.⁶¹⁻⁶ Sumgait State University, Sumgait, Republic of Azerbaijan.

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

Abstract

The current study discusses the direct chlorination of the aromatic core, i.e. m-cresol in an electrochemical system (graphite cathode, anode (ORTA)) in a CCl_4 solvent medium with generated chlorine during the electrolysis of waste gas hydrochloric acid obtained as a by-product in chemical production. The authors of the study establish the optimal mode of the chlorination process in the electrochemical system: HCl concentration of 15-30%, the current density of 10-15 A /dm², temperature of 60-70°C providing the current output of 4-chloro 3-methyl phenol and 4,6-dichloro 3-methyl phenol, respectively, 95%. The chlorination process meets the requirements of "green chemistry".

Keywords: chlorination, m-cresol, non-plasma electrolysis unit, waste gas hydrochloric acid, electrodes, current strength, product yield.

В настоящее время галогенирование – одна из наиболее часто используемых реакций в органической химии, так как хлорпроизводные находят широкое применение в промышленности и в научно-исследовательской работе. Известно много прямых и косвенных способов введения галоида в органические вещества.

За последние два-три десятка лет, было создано много способов хлорирования хлорсодержащими соединениями и предложено немало интересных хлорирующих агентов. В качестве таковых были использованы многие органические и неорганические хлорсодержащие соединения. По характеру действия все хлорирующие агенты можно разделить на две обширные группы. В первой группе относятся хлоридные соединения элементов с переменной валентностью (SCl_2 , SbCl_5 , FeCl_3 и др.), хлор ангидриды некоторых неорганических кислот (хлористый сульфур, фосген и др.). А во второй группе относятся гипохлоридные кислоты, их соли, эфиры, амиды и др [1], [2].

Анализ литературных данных показывают о том, что хлорирование свободными хлорами протекает слишком бурно, вплоть до полного разрушения хлорируемого вещества. Во многих случаях хлорирование свободными хлорами сразу приводит к образованию полихлорпроизводных. Исходя из этого хлорирующие агенты применяются как самостоятельно, так и в присутствии добавок (хлористого алюминия, перекисей и др.), облегчающих отдачу хлора.

Целесообразность применения того или иного метода зависит как от природы галогена, так и от природы субстрата. Органические галогениды могут быть получены взаимодействием субстрата с галогеном (электрофильное замещение, радикальное замещение, присоединение галогена по кратным связям), а так же с помощью реакции замены других функциональных групп на атом галогена или присоединения галогенводородов по кратным связям [3], [4], [5].

Интенсивно развивающаяся в последнее время электрохимия органических соединений привлекает все большее внимание исследователей и открывает новые перспективы для химической промышленности. Интерес к электрохимическому методу синтеза органических соединений обусловлен, прежде всего, тем, что электрохимические процессы обладают высокой селективностью, не требуют использования дорогих химических окислителей или восстановителей и в ряде случаев позволяют получать продукты высокой чистоты и качества [5], [6], [7]. Кроме того, протекание большинства реакций электрохимического синтеза органических соединений при обычных температурах и давлениях с использованием электролизеров простой конструкции значительно упрощает технологию всего процесса [8], [9]. Особенностью современного этапа развития хлорной промышленности является широкое применение металлических анодов. В настоящее время более половины хлора и каустической соды получают в электролизерах, оснащенных ОРТА. В связи с заменой графитовых анодов на ОРТА усиливается тенденция к повышению электродных плотностей тока.

Известно, что в ряде химических производств образуются в качестве побочных продуктов значительные количества соляной кислоты и хлористого водорода (заместительное хлорирование органических соединений, производство - металлического магния, фосфорной кислоты и фосфатов и т. д.). Естественно получения такого крупнотоннажного

отхода как абгазной соляной кислоты и хлористого водорода не может быть ощущаться с точки зрения экологии, а так же без рационального использования или вообще выбросы на атмосферу такого отхода приводит колоссальному экономическому ущербу. Поэтому, поиск пути экологических решений этой проблемы является весьма актуален и в настоящее время многие исследователи уделяют большое внимание в этом направлении.

Целью предложенной работы является рационального использования полученного в качестве побочного продукта абгазной соляной кислоты и хлористого водорода в качестве хлорирующего агента ароматических углеводородов – м-крезола, в том числе бензола, толуола, этилбензола, кумола и др. Один из путей утилизации абгазной кислоты и хлористого водорода является ее электролиз в результате, которого образуются хлор и водород.

Известно что ароматические углеводороды в том числе м-крезол сравнительно легко вступают в реакции электрофильного замещения, типичным примером таких реакций является взаимодействие м-крезола со свободными галогенами, ведущее к замещению атомов водорода в ядре на галоген.

Нами в электрохимической системе было проведено хлорирование м-крезола, изучено влияние температуры на выход по току при хлорировании ароматического ядра, а так же осуществлено нахождение оптимальных условий процесса хлорирования. Реакция хлорирования осуществлялась электрохимическим способом в стеклянном цилиндрическом без диафрагменном электролизере, снабженным термостатом, источником питания постоянного тока, графитовыми и ОРТА электродами, обратным холодильником, мешалкой, термометром, разделительной воронкой и сосуд с раствором КЖ. В качестве исходных реагентов использовали абгазную соляную кислоты, м-крезол, а в качестве растворителя использовали CCl_4 .

Экспериментальная часть

В бездиафрагменную электролизную установку, выше описанной конструкции загружали 185 г 25 %-ной соляной кислоты, 24,5 г м-крезола г. В течение двух часов при температуре 60-70 °С пропускали постоянный ток силой 10 А. После завершения электролиза органическую часть отделяли от водного слоя, промывали водой, сушили над CaCl_2 подвергали хроматографическому анализу. Хроматографический анализ органического слоя показал, что смесь содержит 18,7 г м-крезола (выход по току 70 %), 4,15 г 4-хлор 3-метил фенола (выход по току составляет 25 %) и 4,6-дихлор 3-метил фенола, оставшиеся 1,65 г идущего на получение полихлоридов. Суммарный выход по току составляет около 95 %.

Таким образом, установлено, что выход по току и селективность реакции хлорирования в ядре ароматических углеводородов зависит, в основном, от концентрации абгазной соляной кислоты, температуры электролита, плотности тока.

Из полученных экспериментальных данных вытекают следующие оптимальные условия хлорирования м-крезола в электрохимической системе при электролизе абгазной соляной кислоты:

- Концентрация соляной кислоты, (%) 15-30
- Плотность тока, (А/дм²) 10-15
- Температура электролита, (°С) 60-70
- Соотношение между количествами м-крезола, и
- загружаемого в электролизер, и
- электрохимически образующегося хлора 1,1-1,0

Строение синтезированных монохлорпроизводных (4-хлор 3-метил фенола и 4,6-дихлор 3-метил фенола) были подтверждены ИК – и ЯМР – спектроскопией а также хроматографическом анализом.

Результаты и их обсуждение

В процесс хлорирования органических соединений, м-крезола свободным хлором, генерируемым электролизом абгазной соляной кислоты рассматривается как радикальное замещение, и оно включает в себя образование вначале на аноде атомарного хлора, взаимодействующего затем с соответствующим субстратом.

При проведении опытов нами установлено, что процесс электролиза протекает при плотности тока 10-15 А/дм². А также наблюдается, что электролизу подвергаются концентрированные растворы соляной кислоты, близкие к концентрации HCl , соответствующей максимуму удельной электропроводимости.

Выводы

1. Изучена реакция электрохимического хлорирования ядра м-крезола свободным хлором, генерируемым при электролизе соляной кислоты. Установлено, что при концентрации соляной кислоты 15-30%, при плотности тока 10-15 А/дм² и при температуре 60-70°С, выход хлорпроизводных м-крезола (4-хлор 3-метил фенола и 4,6-дихлор 3-метил фенола) составляет около 95 %. При этом основными продуктами являются монохлорпроизводные ароматических углеводородов.

2. Установлено, что использование четыреххлористого углерода (CCl_4) в качестве растворителя приводит к получению монохлорпроизводных

3. Электрохимическое хлорирование ароматических углеводородов можно вести непрерывным путем в бездиафрагменном электролизере на графитовых и ОРТА электродах, используя 25 %-ную абгазную соляную кислоту.

4. На основе осуществления процесса хлорирования м-крезола в электрохимической системе разработан рациональный, безотходный, экологически безопасный способ получения монохлорпроизводных с высоким выходом.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Ушаков И.П. Методы галогенирования в тонком органическом синтезе / И.П. Ушаков, А.А. Брачина, А.Ф. Миронов. Уч. пособие, Москва, 2005, с.35-38.
2. Muradov M.M. Duru xlorid turşusunda C₃ – C₄ doymamış birləşmələrin və fenolların xlorlaşdırılması / M.M. Muradov // Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. Cild 19. № 2. Sumqayıt 2019. səh. 14-25.
3. Muradov M.M. Aromatik karbohidrogenlərin elektrokimyəvi sistemdə xlorlaşması / M.M. Muradov. Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. Cild 20. № 2. Sumqayıt 2020. səh. 21-32.
4. А.с. 650985 (СССР) Способ получения хлорбензола / Д.А.Ашуров, М.М.Гусейнов, М.С.Салахов, Т.М.Абдуллаева / опуб. в Б.И., 1978, № 24.
5. Юзбеков Ю.А. Электрохимическое хлорирование органических соединений в растворах абгазной соляной кислоты / Ю.А. Юзбеков, Г.А. Тедорадзе, М.М. Атамов // конфер. «Органической и хлорорганической синтез», Сумгаит, 1980, с.175.
6. Фиошин М.Я. Промышленный электролиз органических соединений / М.Я. Фиошин, А.П. Томилов, М.: Наука, 1966. с.255-277.
7. Мурадов М. М. Хлорирование п-крезола в электрохимической системе / М. М. Мурадов, М. М. Гатамов, Т. Р. Просочкина и др. // Башкирский химический журнал. 2020. Том 27. № 3, с.25-27
8. Muradov M.M. Fenolun elektrokimyəvi üsulla xlorlaşması / M.M. Muradov, İ.H. Hüseynova, M.M. Hətəmov et al. // Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. Cild 17. № 2. Sumqayıt 2017. səh. 26-28.
9. Мурадов М.М. Электрохимическое хлорирование м-крезола в солянокислом растворе / М.М. Мурадов, И.Г. Гусейнова, М.М. Гатамов и др. // Colloquium-journal. Miedzynarodowe czasopismo naukowe. № 2(13) 2018, Czes'c' 1. s.58-61.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ushakov I. P. Metody galogenirovaniya v tonkom organicheskim sinteze [Methods of halogenation in fine organic synthesis] / I. P. Ushakov, A. A. Brachina, A. F. Mironov, Moscow, 2005, pp. 35-38 [in Russian]
2. Muradov M.M. Duru xlorid turşusunda C₃ – C₄ doymamış birləşmələrin və fenolların xlorlaşdırılması [Chlorination of C₃ – C₄ unsaturated compounds and phenols in Duro hydrochloric acid. Scientific news] / M.M. Muradov // Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi [Scientific news. Department of natural and technical sciences]. Volume 19. № 2. Sumqayıt 2019. P. 14-25. [in Azerbaijani]
3. Muradov M.M. Aromatik karbohidrogenlərin elektrokimyəvi sistemdə xlorlaşması [Chlorination of aromatic hydrocarbons in the electrochemical system] / M.M. Muradov // Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. [Scientific news. Department of natural and technical sciences]. Volume 20. № 2. Sumgayit 2020. P. 21-32 [in Azerbaijani]
4. A. S. 650985 (USSR) Sposob poluchenija khlorbenzola [A method for producing chlorobenzene] / D. A. Ashurov, M. M. Huseynov, M. S. Salakhov, T. M. Abdullayeva, 1978, No. 24 [in Russian]
5. Yuzbekov Yu. A. Ehlektrokhimicheskoe khlorirovanie organicheskikh soedinenij v rastvorakh abgaznoj soljanojj kisloty [Electrochemical chlorination of organic compounds in solutions of abgas hydrochloric acid] / Yu. A. Yuzbekov, G. A. Tedoradze, M. M. Atamov "Organic and organochlorine synthesis" conference , Sum-gait, 1980, p. 175 [in Russian]
6. Fioshin M. Ya. Promyshlennyj ehlektroliz organiches- kikh soedinenij [Industrial electrolysis of organic compounds] / M. Ya. Fioshin, A. P. Tomilov, Moscow: Nauka, 1966. pp. 255-277 [in Russian]
7. Muradov M. M. Khlorirovanie p-krezola v ehlektrokhimicheskoy sisteme [Chlorination of p-cresol in an electrochemical system] / M. M. Muradov, M. M. Gatamov, T. R. Prosochkina, A. A. Agaev. Bashkir Chemical Journal. 2020. Volume 27. No. 3, pp. 25-27 [in Russian]
8. Muradov M.M. Fenolun elektrokimyəvi üsulla xlorlaşması [Electrochemical chlorination of phenol] / M.M. Muradov, İ.H. Hüseynova, M.M. Hətəmov et al. // Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi [Scientific news. Department of natural and technical sciences]. Volume 17. № 2. Sumgayit 2017. P. 26-28. [in Azerbaijani]
9. Muradov M. M. Ehlektrokhimicheskoe khlorirovanie m-krezola v soljanokislom rastvore [Electrochemical chlorination of m-cresol in hydrochloric acid solution] / M. M. Muradov, I. G. Guseynova, M. M. Gatamov, et al. // Colloquium-journal. Miedzynarodowe czasopismo naukowe. № 2(13) 2018, pp.58-61 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.026>**ТЕХНОЛОГИЯ РЕГЕНЕРАЦИИ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ
ПОСЛЕ АДСОРБЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ КОНТАМИНАНТОВ**

Научная статья

Тимошук И.В.¹*, Горелкина А.К.², Голубева Н.С.³, Беляева О.В.⁴, Юстратов В.П.⁵, Ананьев В.А.⁶¹ ORCID: 0000-0002-1349-2812;² ORCID: 0000-0002-3782-2521;³ ORCID: 0000-0002-2188-8331;⁴ ORCID: 0000-0003-3030-9140;⁵ ORCID: 0000-0002-1779-433X;¹⁻⁶ Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

* Корреспондирующий автор (irina_190978[at]mail.ru)

Аннотация

Проблема очистки сточных вод угольной промышленности кардинально не решена ни в одной стране, так как отсутствует возможность предложить и отработать единую и универсальную схему очистки стоков даже для тех предприятий, которые работают со сходными типами добываемого угля и по близким технологиям. Для очистки карьерных вод от органических соединений целесообразно использовать адсорбционные методы. В процессе эксплуатации эффективность фильтров с сорбирующими материалами снижается, в связи с этим необходима периодическая их регенерация для восстановления адсорбционной способности активных углей. На основе экспериментальных исследований разработана технология восстановления сорбционной емкости сорбентов марок СКД-515, АГ-3, КАУ, АГ-ОВ-1 после адсорбции трилена прогревом в течение 2 часов потоком воздуха с температурой 150 °С. Регенерация данным способом восстанавливает сорбционную способность активных углей на 92–96 %.

Ключевые слова: адсорбция, активные угли, регенерация, сточные воды.**TECHNOLOGY FOR THE REGENERATION OF ACTIVE COALS
AFTER THE ADSORPTION OF ORGANIC CONTAMINANTS**

Research article

Timoshchuk I.V.¹*, Gorelkina A.K.², Golubeva N.S.³, Belyaeva O.V.⁴, Yustratov V.P.⁵, Ananyev V.A.⁶¹ ORCID: 0000-0002-1349-2812;² ORCID: 0000-0002-3782-2521;³ ORCID: 0000-0002-2188-8331;⁴ ORCID: 0000-0003-3030-9140;⁵ ORCID: 0000-0002-1779-433X;¹⁻⁶ Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

* Corresponding author (irina_190978[at]mail.ru)

Abstract

The problem of wastewater treatment of the coal industry has not been fundamentally solved in any country, since there is no opportunity to offer and work out a single and universal scheme for wastewater treatment, even for those enterprises that work with similar types of extracted coal and use similar technologies. It is advisable to use adsorption methods to purify quarry waters from organic compounds. During operation, the efficiency of filters with sorbing materials decreases, therefore their periodic regeneration is necessary to restore the adsorption capacity of active coals. Based on experimental studies, the article introduces a technology for restoring the sorption capacity of sorbents SKD-515, AG-3, KAU, AG-OV-1 after adsorption of triline by heating for 2 hours with airflow at a temperature of 150 °C. Regeneration using this method restores the sorption capacity of active coals by 92-96 %.

Keywords: adsorption, active coals, regeneration, wastewater**Введение**

На сегодняшний день к приоритетному направлению деятельности любого государства относится защита окружающей среды. В настоящее время это один из значимых факторов, оказывающих влияние на дальнейшее развитие человечества, так как в последние годы обострились проблемы, связанные с загрязнением водной оболочки среды. Сброс в поверхностные водоисточники сточных вод, которые вообще не подвергались или подвергались недостаточной очистке на предприятиях, в том числе карьерных вод, образующихся на предприятиях угольной промышленности, приводит к снижению биологической продуктивности экосистем и в конечном итоге к истощению водных ресурсов. Одним из основных загрязнителей поверхностных водных объектов на сегодняшний день является трихлорэтилен, который относится к 1-му классу опасности, его ПДК для питьевой воды составляет 0,005 мг/дм³ в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21.

Трилен - это промышленный растворитель, который применяется в производстве красителей, типографских красок, клея, пятновыводителей, хладагентов, пестицидов. Трихлорэтилен также используется в текстильной промышленности при очистке хлопка, шерсти и других тканей. Трилен содержится в сточных водах кожевенных, металлообрабатывающих, пищевых производств и др.

В настоящее время среди наиболее эффективных и перспективных методов очистки воды от органических загрязнителей целесообразно применение адсорбционных методов [4]. Адсорбционная очистка от органических соединений активными углями в отличие от других методов характеризуется высокой эффективностью, способностью очищать воду, содержащую различные концентрации органических веществ, до величины предельно допустимых

концентраций, соответствующих нормативам СанПиН 1.2.3685-21 и ниже, возможностью выделять ценные продукты из воды, в то время как другие современные методы требуют значительных затрат тепла и электроэнергии, применения высоких температур, различных химических реагентов, а также сопровождаются образованием вторичных поллютантов. Адсорбционная очистка от органических загрязнителей, в том числе содержащихся в карьерных сточных водах угольной промышленности, позволит решить проблему охраны окружающей природной среды и ресурсосбережения.

Ранее нами исследована возможность и разработана технология адсорбционной очистки природных вод от трилена с использованием активных углей (АУ) [5], [6].

Однако следует учитывать, что эффективность адсорбционных фильтров по извлечению загрязнителей органической и неорганической природы в процессе эксплуатации снижается. Для восстановления адсорбционной емкости АУ требуется периодическая их регенерация, которая способствует многократному использованию сорбентов [7].

Целью данной работы является разработка эффективной технологии регенерации сорбентов, отработанных в процессах извлечения трихлорэтилена.

Основная часть

Выбор способа регенерации зависит от свойств вещества. Чаще всего для регенерации сорбентов применяют реагентные (химические) и термические методы (см. таблицу 1) [8].

Объектами исследования являлись: АУ марок АГ-3, КАУ, АГ-ОВ-1, СКД-515 (производитель ОАО «Сорбент», г. Пермь), отличающиеся технологией получения и техническими характеристиками; модельные растворы трилена с концентрацией 0,0020 – 25,0000 ммоль/дм³. Содержание трилена определяли по стандартной методике методом газожидкостной хроматографии [9].

Таблица 1 – Основные методы восстановления сорбционной емкости активных углей

Метод	Условия метода	Продукты регенерации	Восстановление сорбционной емкости
Термическая регенерация	при температуре 500-1000 °С в бескислородной среде	смесь низкомолекулярных летучих продуктов азота и оксидов азота, аммиака CO ₂	99-100%
Низкотемпературная термическая регенерация	при температуре до 400 °С	смесь низкомолекулярных летучих продуктов CO ₂ , H ₂ O	90-95% в связи с естественной потерей АУ
Химическая регенерация	при температуре до 110 °С используется газообразный или жидкий реагент, например, NaOH, NaCl, органические растворители (метанол, бензол, толуол и др.)	зависят от реагента и состава сорбата, в том числе CO ₂ , H ₂ O	до 80%

Для выбора наиболее эффективного метода регенерации АУ, отработанных в процессе извлечения трилена была исследована десорбция трилена на активных углях марок АГ-3, КАУ, АГ-ОВ-1 и СКД-515 потоком воздуха, нагретым до температуры 150°C, паром и водой, нагретой до 90°C. Данная температура воды выбрана с учетом температуры кипения трилена (86,7°C). Для оценки полноты восстановления сорбционной емкости АУ изучена адсорбция трихлорэтилена на исходных сорбентах и восстановленных АУ (см. рисунки 1,2).

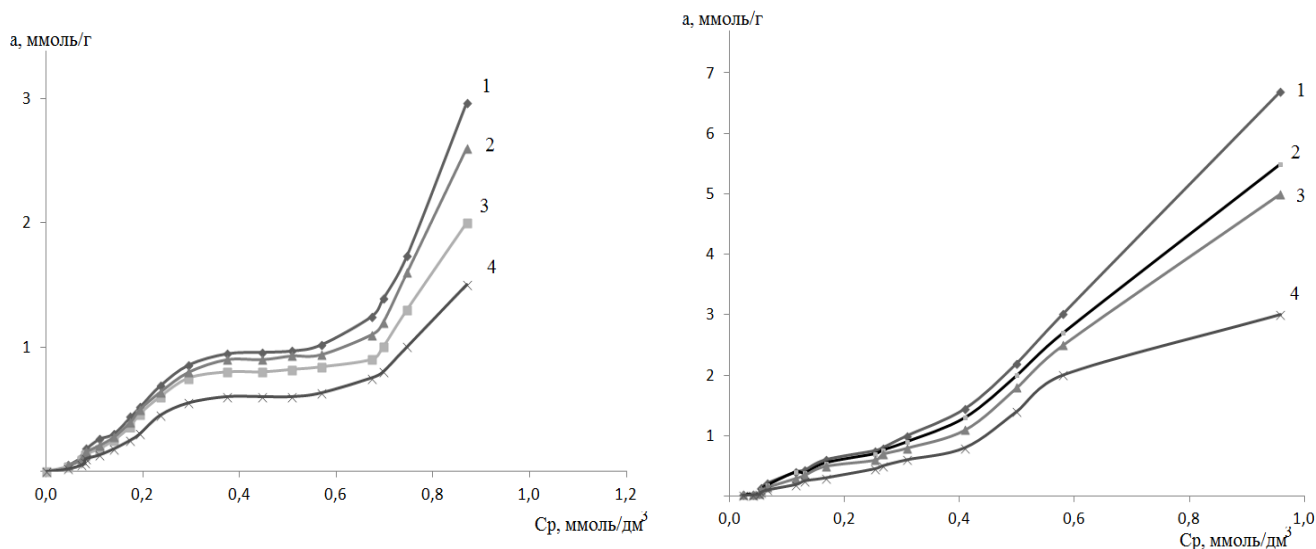


Рис. 1 – Изотермы адсорбции трилена сорбентами марок СКД-515 и АГ-3:

1 – исходный технический уголь; 2 – после регенерации нагретым потоком воздуха (150°C);
3 – после регенерации паром; 4 – после регенерации горячей водой (90°C)

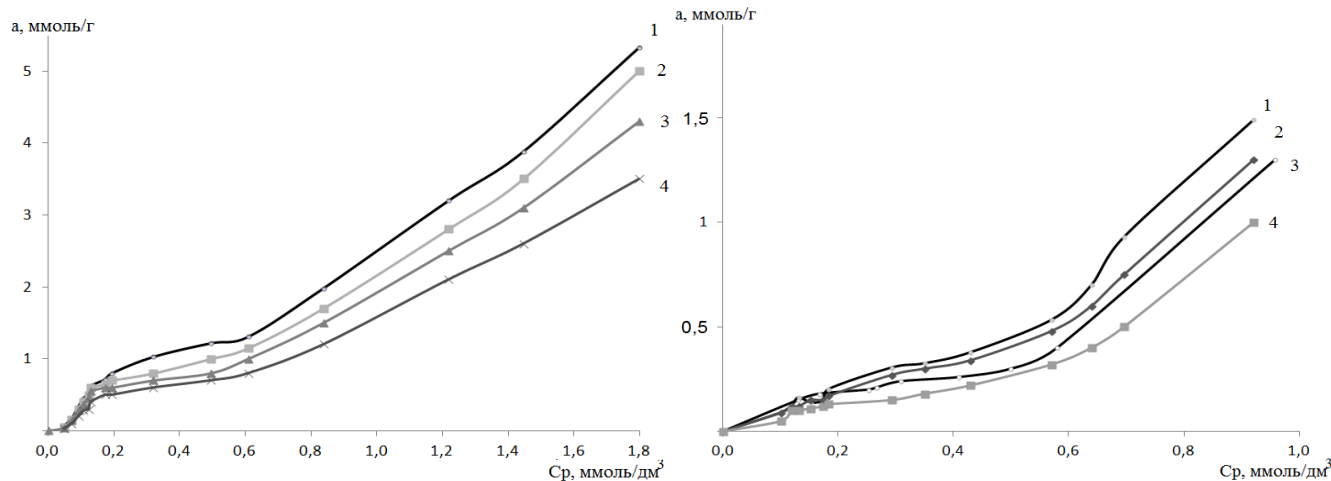


Рис. 2 – Изотермы адсорбции трилена сорбентами марок КАУ и АГ-ОВ-1:
1 – исходный технический уголь; 2 – после регенерации нагретым потоком воздуха (150°C);
3 – после регенерации паром; 4 – после регенерации горячей водой (90°C)

Установлено, что при использовании для восстановления сорбционной емкости АУ потока нагретого воздуха (150 °С) и пара адсорбционная способность сорбентов восстанавливается на 94-98 %, что связано с естественной потерей сорбента, которая находится в пределах 4-6 %. Регенерация водой нагретой до температуры 90 °С, приводит к значительному снижению адсорбционной емкости сорбентов (50-60 % от первоначального значения). Это связано с частичной десорбцией веществ при регенерации, то есть свидетельствует о нецелесообразности применения воды, нагретой до 90 °С.

После адсорбции трилена сравнительные исследования известных способов регенерации сорбентов позволили рекомендовать для практического применения наиболее эффективный метод восстановления сорбционных свойств сорбента - нагретым потоком воздуха (150°C) в течение 2 часов (см. рисунок 3).

При содержании трилена в исходном растворе в концентрации 1,1000 мг/дм³ для оценки степени восстановления сорбционной способности активных углей выполнено 10 циклов сорбция - десорбция сорбентом марки СКД-515, рекомендованном ранее на основе экспериментальных исследований [10] (см. рисунок 4). Установлено, что при семикратном повторении регенерации потоком воздуха, нагретым до 150°C, сорбционная емкость АУ восстанавливается на 90%, а после 10-го цикла - на 82%.

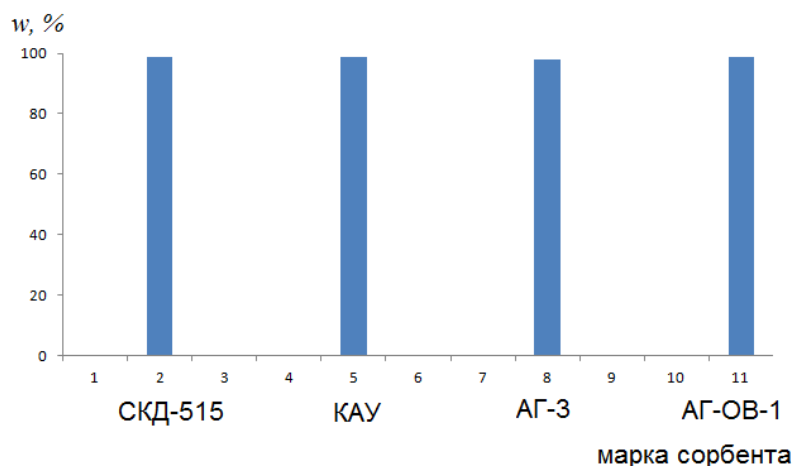


Рис. 3 – Регенерация углеродных сорбентов различных марок потоком воздуха (150°C) после адсорбции трилена

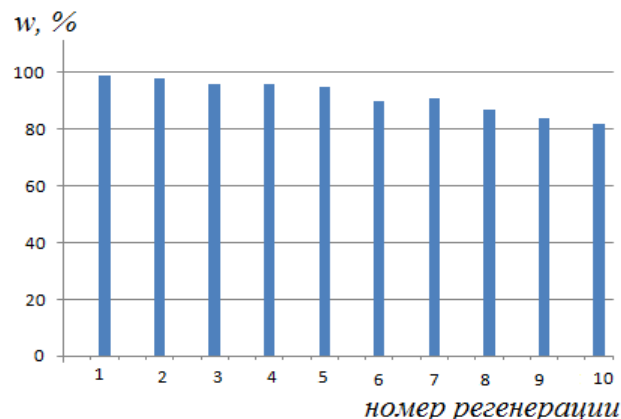


Рис. 4 – Десятикратная регенерация углеродного сорбента СКД-515 потоком воздуха (150°C) после адсорбции трилена

Заключение

На основании результатов системного подхода к изучению адсорбции из водных объектов сорбентами различной природы и по результатам проведенных экспериментальных исследований предложена технология регенерации активных углей после адсорбции трилена, включающая прогрев в течение 2 часов потоком воздуха с температурой 150 °С. Данная технология является высоко эффективной, так как адсорбционная способность сорбентов восстанавливается через 10 циклов сорбция-десорбция более чем на 80%.

Благодарности

Статья подготовлена в рамках комплексной научно-технической программы «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс».

Acknowledgement

The article was prepared within the framework of the comprehensive scientific and technical program "Clean coal - Green Kuzbass".

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Itoh S. Regulations and perspectives on disinfection by-products: importance of estimating overall toxicity / S. Itoh, B. Gordon, P. Callan // *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. – 2011. –Vol. 60(5). – P. 261–274. DOI:10.2166/aqua.2011.068
2. Baytak D. Seasonal variation in drinking water concentrations of disinfection by-products in IZMIR and associated human health risks / D. Baytak, A. Sofuoglu, F. Inal and others // *Science of The Total Environment*. – 2008. –Vol. 407(1). – P. 286–296. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.08.019
3. Jeong C. Occurrence and toxicity of disinfection byproducts in European drinking water in relation with the HIWATE epidemiology study / C. Jeong, E. Wagner, V. Siebert // *Environmental Science & Technology*. – 2012. –Vol.46(21). – P. 12120–12128. DOI:10.1021/es3024226
4. Парфит Г. Адсорбция из растворов на поверхностях твердых тел / Г. Парфит, К. Рочестер. – М.: Мир, 1996. – 488 с.
5. Краснова Т. А. Адсорбционные технологии очистки воды при производстве фруктово-сывороточных напитков / Т. А. Краснова, И. В. Тимошук, А. К. Горелкина и др. // *Экология и промышленность России*. – 2018. – Т.22, № 10. – С.4–10. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-10-4-10>.
6. Krasnova T. A. The choice of sorbent for adsorption extraction of chloroform from drinking water / T. A. Krasnova, I. V. Timoshchuk, A. K. Gorelkina and other // *Foods and Raw materials*. – 2017. – Vol.5(2). – P.189–196. DOI 10.21603/2308-4057-2017-2-189-196
7. Когановский А. М. Адсорбция органических веществ из воды / А. М. Когановский, Н. А. Клименко, Т. М. Левченко и др. –Л.: Химия, 1990. – 256 с.
8. Суханова Т. Б. Методы регенерации активированных углей, используемых в процессах доочистки биологически очищенных нефтесодержащих сточных вод / Т. Б. Суханова, Ю. В. Куликова // *Вестник Пермского государственного технического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности*. – 2010. – №1. – С. 25–31.
9. Corwin C. J. Adsorption and desorption of trace organic contaminants from granular actiated carbon adsorbers after intermittent loading and throughout backwash cycles / C. J. Corwin, R. S. Summers // *Water research*. – 2011. – № 45(2). – P. 417–426. DOI: 10.1016/j.watres.2010.08.039
10. Krasnova T. A. Adsorption processes in solving environmental problems in water sources of Urban Territories Development / T. A. Krasnova, M. P. Kirsanov, O. V. Belyaeva and other // *MATEC Web of Conferences*. – 2018. –Vol. 170, – Art. 04005. – 10 p. DOI: 10.1051/matecconf/201817004005

Список литературы на английском языке / References in English

1. Itoh S. Regulations and perspectives on disinfection by-products: importance of estimating overall toxicity / S. Itoh, B. Gordon, P. Callan // *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. – 2011. –Vol. 60(5). – P. 261–274. DOI:10.2166/aqua.2011.068

2. Baytak D. Seasonal variation in drinking water concentrations of disinfection by-products in IZMIR and associated human health risks / D. Baytak, A. Sofuoglu, F. Inal et al. // *Science of The Total Environment*. – 2008. – Vol. 407(1). – P. 286–296. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.08.019
3. Jeong C. Occurrence and toxicity of disinfection byproducts in European drinking water in relation with the HIWATE epidemiology study / C. Jeong, E. Wagner, V. Siebert // *Environmental Science & Technology*. – 2012. – Vol.46(21). – P. 12120–12128. DOI:10.1021/es3024226
4. Parfit G. Adsorbciya iz rastvorov na poverhnostyah tverdyh tel [Adsorption from solutions on the surfaces of solid bodies] / G. Parfit, K. Rochester. – M.: Mir, 1996. – 488 p. [in Russian]
5. Krasnova T.A. Adsorbciionnye tehnologii ochistki vody pri proizvod-stve fruktovo-syvorotochnyh napitkov [Adsorption technologies of water purification in the production of fruit and whey drinks] / T. A. Krasnova, I. V. Timoshhuk, A. K. Gorelkina et al. // *Jekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia]. – 2018. – № 10 (22). – P.4–10. [in Russian] DOI 10.18412/1816-0395-2018-10-4-10.
6. Krasnova T. A. The choice of sorbent for adsorption extraction of chloroform from drinking water / T. A. Krasnova, I. V. Timoshchuk, A. K. Gorelkina et al. // *Foods and Raw materials*. – 2017. – Vol.5 (2). – P.189–196. DOI 10.21603/2308-4057-2017-2-189-196
7. Koganovskij A. M. Adsorbciya organicheskikh veshhestv iz vody [Adsorption of organic substances from water] / A. M. Koganovskij, N. A. Klimenko, T. M. Levchenko et al. – L.: Himija, 1990. – 256 p. [in Russian]
8. Suhanova T. B. Metody regeneracii aktivirovannyh uglej, ispol'zuemyh v processah doochistki biologicheskikh ochishhennyh neftesoderzhashhih stochnyh vod [Methods of regeneration of activated carbons used in the processes of post-treatment of biologically purified oil-containing wastewater] / T. B. Suhanova, Ju. V. Kulikova // *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Ohrana okruzhajushhej sredy, transport, bezopasnost' zhiznedejatel'nosti* [Bulletin of the Perm State Technical University. Environmental protection, transport, life safety]. – 2010. – №1. – P. 25–31. [in Russian]
9. Corwin C. J., Summers R. S. Adsorption and desorption of trace organic contaminants from granular actiated carbon adsorbers after intermittent loading and throughout backwash cycles / C. J. Corwin, R. S. Summers // *Water research*. – 2011. – № 45(2). – P. 417–426. doi: 10.1016/j.watres.2010.08.039
10. Krasnova T. A. Adsorption processes in solving environmental problems in water sources of Urban Territories Development / T. A. Krasnova, M. P. Kirsanov, O. V. Belyaeva et al. // *MATEC Web of Conferences*. – 2018. – Vol. 170. – Art. 04005. – 10 p. DOI: 10.1051/mateconf/201817004005

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.027>

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ КЛЕТОК ФОТОМИКСОТРОФНОЙ КАЛЛУСНОЙ КУЛЬТУРЫ *TRIGONELLA FOENUM-GRAECUM* L. ПРИ ДЕЙСТВИИ СЕЛЕНА

Научная статья

Логвина А.О.*

ORCID: 0000-0002-0084-9069,

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

* Корреспондирующий автор (hanna.lohvina[at]gmail.com)

Аннотация

Представлены результаты определения параметров роста, содержания и соотношения фотосинтетических пигментов, уровня накопления фенольных соединений и антирадикальных свойств клеток фотомиксотрофной каллусной культуры пажитника греческого (*Trigonella foenum-graecum* L.) при введении в состав питательной среды неорганического источника селена (Se) в форме селенита натрия в концентрациях 10^{-8} - 10^{-3} М. Установлено, что токсической для каллусной ткани является концентрация селенита, равная 10^{-3} М. На это указывает полное ингибирование ростовых процессов культуры, а также изменения, происходящие в содержании и соотношении фотосинтетических пигментов, являющиеся свидетельствами значительного подавления работы фотосинтетического аппарата. При более низких концентрациях экзогенного вещества значимый ответ со стороны физиологических показателей каллусной культуры либо вовсе отсутствует (10^{-8} - 10^{-5} М), либо негативные последствия касаются только ростовых процессов (10^{-4} М), не затрагивая функционирование пигментной системы фотосинтетического аппарата. Небольшое снижение уровня фотосинтетических пигментов происходит под действием 10^{-5} и 10^{-3} М тестируемого вещества. Положительная корреляция между содержанием фенольных соединений и антирадикальной активностью водно-спиртовых экстрактов каллусной ткани при варьировании концентрации селенита натрия в питательной среде свидетельствует о значительной роли данных метаболитов в проявлении антиоксидантных свойств объекта.

Ключевые слова: *Trigonella foenum-graecum*, пажитник греческий, каллус, культура клеток *in vitro*, селенит натрия, селен, индекс роста, фотосинтетические пигменты, фенольные соединения, антирадикальная активность, DPPH.

PHYSIOLOGICAL PARAMETERS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF CELLS OF PHOTOMIXOTROPHIC CALLUS CULTURE *TRIGONELLA FOENUM-GRAECUM* L. UNDER THE INFLUENCE OF SELENIUM

Research article

Logvina A.O.*

ORCID: 0000-0002-0084-9069,

Belarusian State University, Minsk, Belarus

* Corresponding author (hanna.lohvina[at]gmail.com)

Abstract

The current study presents the results of determining the growth parameters, the content and ratio of photosynthetic pigments, the level of accumulation of phenolic compounds and antiradical properties of cells of a photomixotrophic callus culture of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) when an inorganic source of selenium (Se) in the form of sodium selenite in concentrations of 10^{-8} - 10^{-3} M is introduced into the nutrient medium. It was found that the concentration of selenite equal to 10^{-3} M is toxic for the callus tissue. This is indicated by the complete inhibition of the growth processes of the culture as well as changes in the content and ratio of photosynthetic pigments, which are evidence of significant suppression of the photosynthetic apparatus. At lower concentrations of the exogenous substance, there is a significant response from the physiological parameters of the callus culture or there is no response (10^{-8} - 10^{-5} M), or negative consequences relate only to growth processes (10^{-4} M) without affecting the functioning of the pigment system of the photosynthetic apparatus. A slight decrease in the level of photosynthetic pigments occurs when introducing 10^{-5} and 10^{-3} M of the tested substance. The positive correlation between the content of phenolic compounds and the antiradical activity of water-alcohol extracts of callus tissue with varying concentrations of sodium selenite in the nutrient medium indicates a significant role of these metabolites in the manifestation of the antioxidant properties of the object.

Keywords: *Trigonella foenum-graecum*, fenugreek, callus, cell culture *in vitro*, sodium selenite, selenium, growth index, photosynthetic pigments, phenolic compounds, antiradical activity, DPPH.

Введение

Культуры клеток растений *in vitro* на протяжении многих десятилетий являются важными объектами биологических исследований. Применение клеточных культур обеспечивает возможность постановки полностью контролируемого эксперимента с использованием клеток практически любых видов растений (в том числе экзотических и редких), позволяет получать результаты в относительно короткие сроки, моделировать действие любых экзогенных факторов, а также нивелировать влияние посторонних воздействий.

Одновременно с этим результаты по изучению влияния экзогенных факторов на физиологические показатели и биосинтетический потенциал клеточных культур являются основой для создания промышленной технологии получения лекарственных препаратов, пищевых добавок и т.д. В процессе таких экспериментов варьированию подвергаются как

физические факторы культивирования, так и качественный и количественный состав питательной среды [1]. Зачастую питательные среды дополняются новыми компонентами, одним из которых может являться селен (Se).

Известно, что Se повышает устойчивость растений к действию неблагоприятных факторов среды за счет активизации работы ферментативной антиоксидантной системы и накопления низкомолекулярных антиоксидантов. Наряду с чем, одной из его функций является непосредственное участие в антиоксидантных процессах за счет включения в составе кофактора в глутатионпероксидазу [2], [3]. Кроме этого, указанный элемент выступает в качестве элиситора, стимулируя рост и увеличивая продуктивность растений [4], а также может регулировать их вторичный синтез [5]. В целом влияние Se на метаболизм различных организмов связано с важной ролью Se-содержащих и Se-зависимых ферментов, таких как редуктаза, фосфолипидгидропероксидаза, формилдегидрогеназа, дейодиназа и др. Таким образом, хотя данный металл и не относится к числу жизненно необходимых для растений элементов, его важнейшая роль в нормальном протекании многих внутриклеточных процессов не подвергается сомнению.

Выращивание клеточных культур растений в присутствии Se предположительно может замедлить процесс старения клеток, увеличивая тем самым продолжительность стационарной фазы роста, вследствие активизации системы антиоксидантной защиты. В то же время элиситорные свойства Se могут привести к повышению уровня накопления биомассы и/или целевых метаболитов в культуре растительных клеток. Так, добавление Se-содержащих компонентов в питательную среду может значительно улучшить характеристики данных объектов. При этом особенности влияния Se на физиологические показатели клеточных культур, как и на их биосинтетические свойства и антиоксидантный потенциал, как отмечается в работе [6], до сих пор мало изучены, что, несомненно, определяет актуальность подобных исследований. Кроме этого, в литературе отсутствуют сведения о влиянии соединений металла на функционирование фотосинтетического аппарата в клетках *in vitro*, хотя именно хлоропласты являются основными сайтами ассимиляции Se [7].

В этой связи, целью данной работы было установление закономерностей воздействия одной из основных неорганических форм Se – селенита натрия – на некоторые физиологические показатели, в том числе содержание фотосинтетических пигментов, а также антиоксидантные свойства фотомиксотрофной каллусной культуры пажитникового греческого (*Trigonella foenum-graecum* L.). *T. foenum-graecum* представляет собой важное пряно-ароматическое и пищевое растение, обладающее также широким спектром терапевтических эффектов, обусловленных высоким содержанием комплекса фармакологически важных веществ (сапонинов, фенольных соединений, алкалоидов и др.). Культура клеток данного растения на протяжении нескольких десятилетий привлекает внимание ученых как альтернативный источник получения указанных метаболитов [8], [9]. Se же может сыграть существенную роль в повышении уровня ее продуктивности. При этом наличие хлоропластов в используемой каллусной линии, позволяет провести изучение влияния минерального элемента на характеристики фотосинтетического аппарата клеток в условиях *in vitro*.

Методы и принципы исследования

Объект исследования – фотомиксотрофная каллусная культура *T. foenum-graecum*. Была получена из гетеротрофного каллуса листового происхождения *T. foenum-graecum* ярового сорта Ovarі 4, путем продолжительного (более 6 месяцев) культивирования на свету в условиях фитостата (14 ч свет/10 ч темнота, интенсивность освещения 3000 лк) при комнатной температуре. Выращивание тестируемой каллусной ткани осуществляли на агаризованной среде Мурасиге и Скуга, дополненной 4% сахарозы и фитогормонами 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислотой, 3-индолилуксусной кислотой и кинетином в концентрации 2,0 мг/л [10].

В качестве Se-содержащего соединения применяли одну из основных неорганических форм элемента, эффективно поглощаемую и метаболизируемую растительными клетками, – селенит натрия (Na_2SeO_3) [11]. Концентрация селенита натрия в средах составляла 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} , 10^{-4} и 10^{-3} М. Контрольной служила питательная среда без добавления данного вещества.

Для оценки активности ростовых процессов каллусной культуры рассчитывали индекс роста по сырой и сухой биомассе [12].

Определение содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов) в ацетоновых вытяжках проводили спектрофотометрически по общепринятой методике [13].

Общее содержание фенольных соединений находили спектрофотометрически по методу Фолина-Чокальтеу [14]. Экстракцию осуществляли 70 %-ным этанолом (соотношение сырье : экстрагент – 1 : 100), путем настаивания смеси в течение 24 ч при непрерывном помешивании при комнатной температуре с последующим нагреванием на водяной бане в течение 1 ч при 70°C. Сумму фенолов выражали в мг/г сухой массы в эквиваленте галловой кислоты.

Антирадикальную активность тех же экстрактов определяли спектрофотометрически методом DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил). Сперва рассчитывали процент ингибирования радикалов DPPH. После чего по калибровочной кривой, построенной для аскорбиновой кислоты, находили антирадикальную активность экстрактов, которую выражали в мг/г сухой массы в эквиваленте активности аскорбиновой кислоты [15].

Эксперименты проводили в трех биологических и трех-четырёх аналитических повторностях. Данные представлены в виде средних значений и стандартной ошибки средней. Оценку линейной связи между количественными переменными проводили с помощью коэффициента Пирсона. Гипотезу о наличии достоверной положительной корреляции считали подтвержденной при $p \leq 0,05$.

Основные результаты

На первом этапе исследования был установлен характер действия селенита натрия на активность роста фотомиксотрофной каллусной культуры *T. foenum-graecum* (см. рисунок 1).

Показано, что добавление в среду селенита натрия в концентрациях 10^{-8} – 10^{-5} М существенно не отразилось на индексе роста каллуса, найденном как по сырой, так и по сухой биомассе. При использовании питательной среды,

дополненной 10^{-4} и 10^{-3} М Se-содержащей соли, наблюдалось сильное торможение ростовых процессов. Эффект ингибирования по сырой массе составил более 80%, по сухой массе – около 60%.

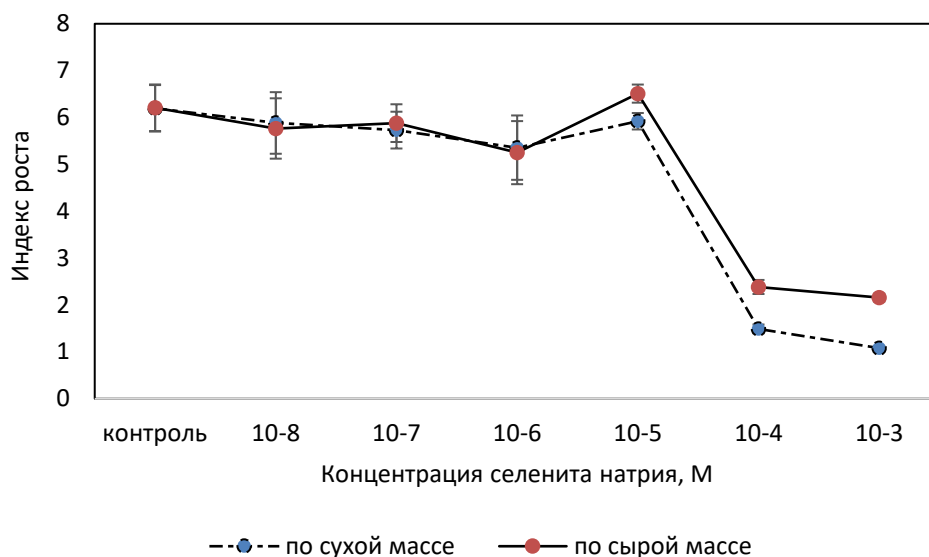


Рис. 1 – Влияние селенита натрия на индекс роста фотомиксотрофной каллусной культуры пажитника греческого по сырой и сухой массе

Достоверных отличий в темпах роста каллусной ткани по сухой массе, выращиваемой в присутствии селенита в данных концентрациях, не было. Тогда как ростостимулирующее действие, оцененное по индексу роста по сырой массе, под действием 10^{-3} М селенита натрия оказалось более выраженным, чем для среды, включающей 10^{-4} М Se. Исходя из чего, снижение интенсивности роста каллусной культуры, вызванной селенитом натрия в концентрациях 10^{-4} М и, особенно, 10^{-3} М, происходило, в том числе вследствие уменьшения оводненности клеток.

На рисунке 2 приведены данные по количественному содержанию фотосинтетических пигментов. Как уже отмечено выше, исследования по установлению действия соединений Se на содержание фотосинтетических пигментов в клеточных культурах ранее не проводились.

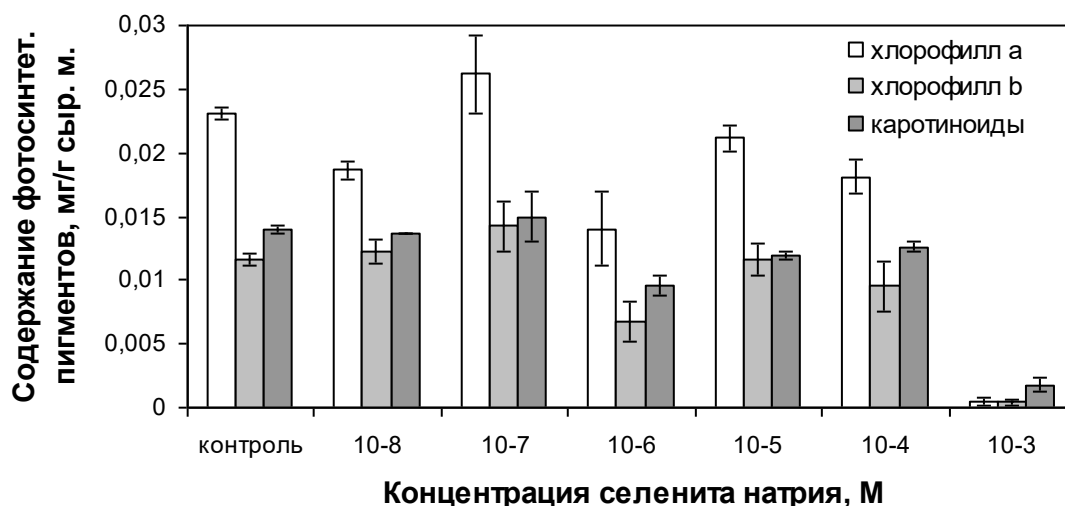


Рис. 2 – Влияние селенита натрия на содержание фотосинтетических пигментов в фотомиксотрофной каллусной культуре пажитника греческого

Внесение в питательную среду селенита натрия в концентрациях 10^{-8} и 10^{-6} М привело к снижению содержания фотосинтетических пигментов в 1,5 раза по сравнению с контролем. Селенит натрия в концентрациях 10^{-5} и 10^{-4} М вызвал небольшое уменьшение уровня хлорофилла *a*, тогда как содержание хлорофилла *b* и каротиноидов достоверно не изменилось. Значительный негативный эффект наблюдался при добавлении в состав среды соли Se в концентрации 10^{-3} М. В данном случае биосинтез зеленых пигментов был практически подавлен, и количественно преобладали каротиноиды. И лишь в присутствии селенита натрия в концентрации 10^{-7} М наблюдалась тенденция к повышению содержания фотосинтетических пигментов в каллусе, однако достоверных различий с контролем обнаружено не было.

Согласно расчетам суммарного содержания хлорофиллов *a* и *b*, отражающего изменения, происходящие в общем пуле зеленых пигментов, обнаруживается заметное снижение общего содержания хлорофиллов при действии селенита натрия в концентрациях 10^{-6} и 10^{-4} М. Чрезвычайно низкое значение показателя было продемонстрировано на

питательной среде с 10^{-3} М селенита натрия, что стало результатом практически полного ингибирования накопления хлорофилла обеих форм.

Соотношение хлорофиллов демонстрирует изменение в балансе между хлорофиллами *a* и *b*, в первую очередь, вследствие их взаимопревращения. Применение селенита натрия в диапазоне концентраций 10^{-8} – 10^{-4} М не повлекло за собой значимого смещения соотношения хлорофиллов по сравнению с контролем. Только в случае введения в среду 10^{-3} М селенита наблюдалось практически двукратное снижение показателя, указывающего на повышение уровня хлорофилла *b* относительно хлорофилла *a*.

Для растительных клеток важным показателем является также отношение суммарного содержания хлорофиллов к содержанию каротиноидов. Данный показатель обычно стабилен и его значительные изменения наблюдаются, как правило, при воздействии неблагоприятных факторов среды. Установлено, что селенит натрия в диапазоне концентраций 10^{-8} – 10^{-4} М не оказывает существенного влияния на соотношение пигментов разных групп. Сильное падение значения данного показателя происходит лишь в случае наиболее высокой из тестируемых концентраций селенита вследствие существенного превышения содержания каротиноидов над уровнем хлорофиллов.

Фенольные соединения представляют собой один из наиболее распространенных и многочисленных классов природных биологически активных веществ. Будучи продуктами вторичного метаболизма растений, они принимают активное участие в окислительно-восстановительных процессах, выработке иммунитета, регуляции роста, а благодаря особенностям структуры, являются эффективными природными антиоксидантами. Влияние Se на накопление вторичных метаболитов, в частности фенольных соединений, в культуре клеток *in vitro* мало изучено.

На рисунке 3 представлена зависимость общего содержания фенольных соединений в клеточной культуре от концентрации селенита натрия в питательной среде.

Важно отметить, что довольно высокий уровень фенольных соединений регистрировался во всех вариантах опыта. Так, статистически достоверный стимулирующий накопление фенольных соединений эффект от введения в среду селенита натрия наблюдался в случае применения его в концентрациях 10^{-8} , 10^{-6} и 10^{-4} М. Причем повышение значений данного показателя для селенита в концентрациях 10^{-6} и 10^{-4} М практически достигло 30 % от контроля. В присутствии селенита натрия в концентрации 10^{-7} М уровень метаболитов фенольной природы в клетках каллуса *T. foenum-graecum* существенно не изменился. Уменьшение показателя обнаружено для вариантов сред с 10^{-5} и 10^{-3} М селенита (на 15 и 20 % относительно контроля соответственно).

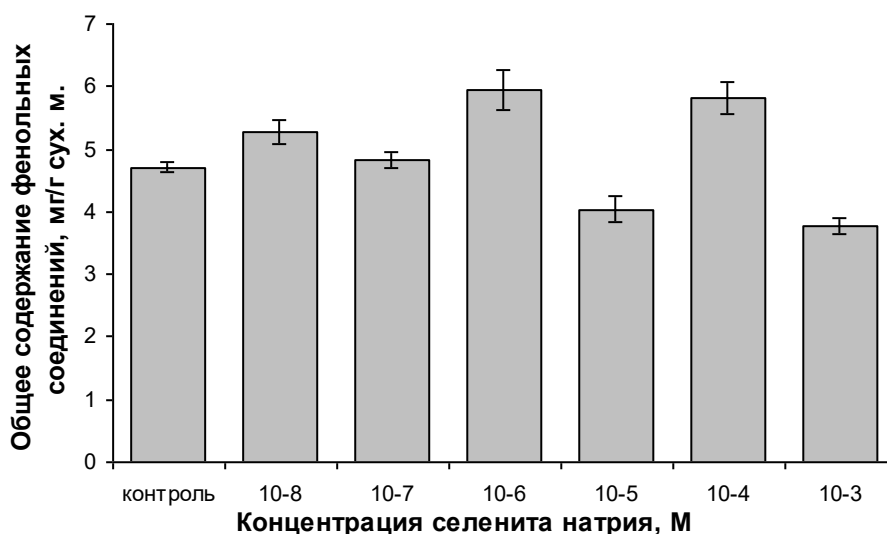


Рис. 3 – Влияние селенита натрия на общее содержание фенольных соединений в фотомиксотрофной каллусной культуре пажитника греческого

Важнейшей функцией Se является его непосредственное участие в антиоксидантных процессах. Однако повышенное содержание ионов металлов в питательной среде по сравнению с нормой является одним из факторов стресса для растительной клетки. Воздействие же стресс-факторов ведёт к накоплению свободных радикалов в клетках и активизации антиоксидантной системы защиты. Исходя из указанных соображений, следующим этапом исследования было определение антирадикальной активности водно-спиртовых экстрактов каллусной культуры *T. foenum-graecum* при варьировании экзогенной концентрации селенита натрия. Полученные данные представлены на рисунке 4.

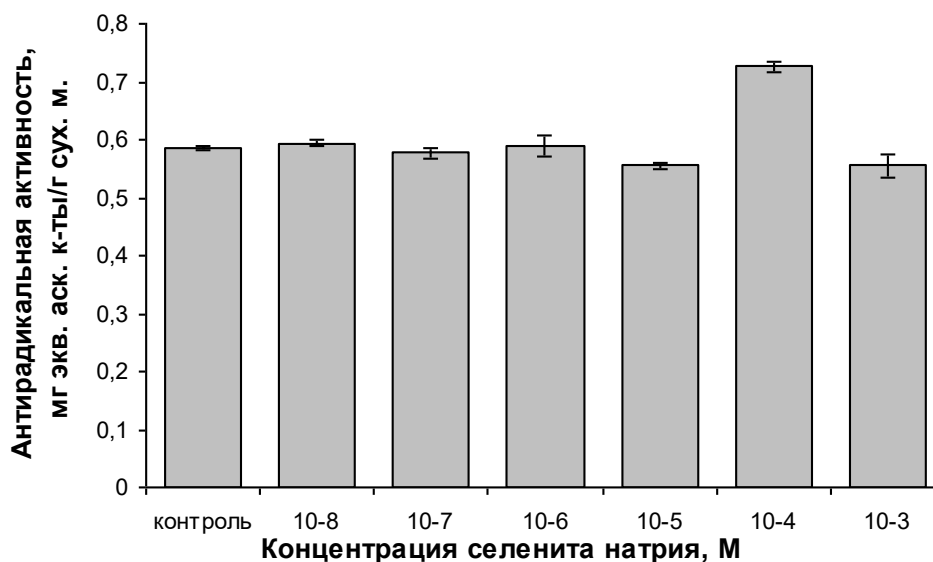


Рис. 4 – Влияние селенита натрия на антирадикальную активность водно-спиртовых экстрактов фотомиксотрофной каллусной культуры пажитника греческого

Введение в состав среды селенита натрия в интервале концентраций 10^{-8} – 10^{-6} М не оказало достоверного по сравнению с контролем изменения антирадикальной активности экстрактов каллуса *T. foenum-graecum*. Небольшое снижение способности ингибировать свободные радикалы экстрактом каллуса отмечено при применении соли Se в концентрациях 10^{-5} и 10^{-3} М. Существенная (25 %-ная) стимуляция антирадикальной активности наблюдается для варианта среды, дополненной селенитом натрия в концентрации 10^{-4} М.

Корреляционный анализ выявил наличие достоверной положительной связи между общим содержанием фенольных соединений в фотомиксотрофном каллусе *T. foenum-graecum* и антирадикальной активностью его водно-спиртовых экстрактов в условиях варьирования концентрации селенита натрия в среде (коэффициент Пирсона равен 0,67 при количестве степеней свободы 5 при $p \leq 0,05$), что указывает на доминирующую роль фенолов в проявлении противорадикальных свойств каллусных клеток.

Обсуждение

Известно, что влияние соединений селена на растительные объекты носит дозозависимый характер. При его действии в высоких концентрациях, как правило, наблюдаются негативные последствия, что является результатом следующих процессов. Так, под действием Se может происходить ингибирование метаболических путей за счет замещения данным элементом серы (S) в S-содержащих аминокислотах – цистеине (Цис) и метионине (Мет) – с образованием Se-Цис и Se-Мет [11]. Кроме этого, Se может действовать как прооксидант, индуцируя накопление активных форм кислорода (АФК), в результате чего растительные клетки подвергаются окислительному стрессу. Также он может принимать непосредственное участие в генерации АФК через реакцию с редуцированным глутатионом. При этом, как сказано ранее, метаболизация Se осуществляется, главным образом, в хлоропластах. Поэтому всем описанным негативным реакциям, в первую очередь, подвергаются данные пластиды (нарушается структура хлоропластной ДНК, белков, мембранных липидов под действием АФК, Se заменяет S в S-содержащих составляющих фотосинтетического аппарата) [7]. По этой причине снижение значений параметров фотосинтетического аппарата, в частности содержания фотосинтетических пигментов, может служить чувствительным индикатором токсического действия Se.

В представленном исследовании токсической для каллусной ткани является концентрация селенита, равная 10^{-3} М. На это указывает полное ингибирование ростовых процессов культуры, а также изменения, происходящие в содержании и соотношении фотосинтетических пигментов, являющиеся свидетельствами значительного подавления работы фотосинтетического аппарата. Содержание фенольных соединений поддерживается на довольно высоком уровне, хотя и уступает контролю. При этом антирадикальная активность соответствует контрольному показателю, что может свидетельствовать об увеличении в фенольном комплексе структур с повышенной антиоксидантной способностью, либо о вкладе в проявление указанной активности других соединений.

В диапазоне концентраций от 10^{-8} до 10^{-5} М селенит натрия не оказывает значительного влияния на рост фотомиксотрофного каллуса *T. foenum-graecum* и содержание в нем фотосинтетических пигментов. Уровень фенольных метаболитов хотя несколько варьирует относительно контрольного значения в присутствии селенита в концентрациях 10^{-8} – 10^{-5} М, тем не менее, это не отражается на антирадикальной активности.

Неоднозначный эффект селенита наблюдается при его концентрации 10^{-4} М. С одной стороны, происходит существенное торможение роста каллусной ткани, и возрастание содержания фенольных соединений, сопровождающееся сильным подъемом антирадикальной активности (причем последнее зафиксировано только для данной концентрации). С другой стороны, содержание фотосинтетических пигментов, как и их соотношение, мало изменяется относительно контроля, что не позволяет отнести данную концентрацию Se-содержащего вещества к ряду токсических. При этом описанные реакции со стороны ростовых процессов и синтеза фенольных соединений являются типичными для растительных клеток при стрессовом воздействии и направлены на нивелирование вызванных им негативных последствий. И важная роль при этом отводится именно фенольным соединениям, как эффективным антиоксидантам [16]. Побочным же эффектом увеличения содержания фенольных соединений могло стать усиление

ингибирования ростовых процессов каллусной культуры. Таким образом, селенит натрия в концентрации 10^{-4} М запускает стрессовый ответ, однако мобилизация защитных систем клеток, проявляющаяся в частности в повышении накопления фенолов, еще способна блокировать токсическое действие Se.

Необходимо подчеркнуть, что полученные в ходе настоящего исследования данные подтверждают имеющиеся в литературе сведения, согласно которым Se стимулирует работу антиоксидантной системы защиты клеток, тем самым повышая резистентность к действию стрессоров [2]. Так, в некоторых вариантах опыта – при концентрациях селенита натрия 10^{-8} и 10^{-6} М – наблюдалось существенное возрастание содержания фенольных соединений в каллусной ткани *T. foenum-graecum* при сохранении средних значений других определяемых показателей. Также примечательно, что в соответствии с полученными результатами, токсический порог Se для каллусных клеток *T. foenum-graecum* находится в диапазоне высоких концентраций – $>10^{-4}$ М и $\leq 10^{-3}$ М. Анализ литературы показал, что для подавляющего большинства клеточных культур токсические для них концентрации Se-содержащих соединений как минимум на порядок ниже по сравнению с фотомиксотрофной каллусной культурой *T. foenum-graecum*, что указывает на более высокую устойчивость последней по отношению к высоким концентрациям Se.

Заключение

Таким образом, установлено, что типичный для растительных объектов двойственный характер воздействия селена, заключающийся в зависимом от дозы проявлении как положительного (как правило, при низких концентрациях), так и отрицательного эффектов (как правило, при высоких концентрациях), для данной каллусной культуры зарегистрирован не был. Фотомиксотрофная каллусная культура *T. foenum-graecum* проявляет повышенную устойчивость к Se в высоких концентрациях, о чем свидетельствует достаточно высокий токсический порог действия данного элемента, находящийся в ряду концентраций $>10^{-4}$ М и $\leq 10^{-3}$ М, и отсутствие ингибирования работы антиоксидантной системы клеток даже под влиянием 10^{-3} М селенита натрия.

Выраженного стимулирующего эффекта селенита натрия в низких концентрациях на рост и/или уровень накопления фенольных соединений, как практически важных вторичных метаболитов, выявлено не было, что делает нецелесообразным регулярное внесение данного элемента в состав питательной среды для культивирования фотомиксотрофной каллусной культуры пажитника греческого.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Носов А. М. Регуляция синтеза вторичных соединений в культуре клеток растений / А. М. Носов // Биология культивируемых клеток и биотехнология растений. Под ред. Бутенко Р. Г. – М: Наука, 1991. – С. 5–20.
2. Feng R. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses / R. Feng, C. Wei, S. Tu // Environ. Exp. Bot. – 2013. – Vol. 87. – P. 58–68. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2012.09.002
3. Sieprawska A. Involvement of selenium in protective mechanisms of plants under environmental stress conditions – Review / A. Sieprawska, A. Kornaś, M. Filek // Acta Biologica Cracoviensia s. Botanica. – 2015. Vol. 57 (1). – P. 9–20. DOI: 10.1515/abcsb-2015-0014
4. Turakainen M. Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch / M. Turakainen, H. Hartikainen, M. M. Seppanen // J. Agric. Food Chem. – 2004. – Vol. 52 (17). – P. 5378–5382.
5. Ramakrishna A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites / A. Ramakrishna, G. A. Ravishankar // Plant Signal Behav. – 2011. – Vol. 6 (11). – P. 1720–1731.
6. Сиянова Н. С. Оптимизация условий выращивания культуры ткани раувольфии змеиной / Н. С. Сиянова, С. Н. Неуструева // Ученые записки Казанского государственного университета. – 2008. – Т. 150 (2). – С. 201–224.
7. Freeman J. L. Molecular mechanisms of selenium tolerance and hyperaccumulation in *Stanleya pinnata* / J. L. Freeman, M. Tamaoki, C. Stushnoff et al. // Plant Physiology. – 2010. – Vol. 153 (4). – P. 1630–1652. DOI: 10.1104/pp.110.156570
8. Mehrafarin A. A review on biology, cultivation and biotechnology of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) as a valuable medicinal plant and multipurpose / A. Mehrafarin, S. Rezazadeh, H. Naghdi Badi et al. // Journal of Medicinal Plants. – 2011. – Vol. 10 (37). – P. 6–24.
9. Логвина А. О. Физиолого-биохимические характеристики клеточных культур *Trigonella foenum-graecum*: дисс. ... канд. биол. наук: 03.01.05: защищена 16.06.15; утв. 20.11.2015 / Логвина Анна Олеговна. – Мн., 2015. – 239 с.
10. Lohvina H. Fenugreek cell culture in vitro as a potential source of phenolic antioxidants / H. Lohvina, V. Yurin // Scientific enquire in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach. Natural sciences. 3rd edition. – San Francisco, 2014. – P. 8–12.
11. Terry N. Selenium in higher plants / N. Terry, A. M. Zayed, M. P. De Souza // Annu. Rev. Plant Biol. – 2000. – Vol. 51. – P. 401–432.
12. Носов А. М. Методы оценки и характеристики роста культур клеток высших растений / А. М. Носов // Молекулярно-генетические и биохимические методы в современной биологии растений. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011. – С. 386–403.
13. Мокроносов А. Т. Малый практикум по физиологии растений / А. Т. Мокроносов. – М.: Издательство Московского университета, 1994. – 183 с.
14. Slinkard K. Total phenol analysis: automation and comparison with manuel methods / K. Slinkard, V. L. Singleton // American journal of enology and viticulture. – 1977. – Vol. 28. – P. 49–55.

15. Marxen K. Determination of DPPH radical oxidation caused by methanolic extracts of some microalgal species by linear regression analysis of spectrophotometric measurements / K. Marxen, K. H. Vanselow, S. Lippemeier et al. // *Sensors*. – 2007. – Vol. 7. – P. 2080–2095.

16. Achnine L. Colocalization of L-phenylalanine ammonia-lyase and cinnamate 4-hydroxylase for metabolic channeling in phenylpropanoid biosynthesis / L. Achnine, E. B. Blancaflor, S. Rasmussen // *The Plant Cell*. – 2004. – Vol. 16. – P. 3098–3109. DOI: 10.1105/tpc.104.024406

Список литературы на английском языке / References in English

1. Nosov A. M. Reguljacija sinteza vtorichnyh soedinenij v kul'ture kletok rastenij [Regulation of the synthesis of secondary compounds in a plant cell culture] / A. M. Nosov // *Biologija kul'tiviruemyh kletok i biotehnologija rastenij* [Biology of cultured cells and plant biotechnology]. / edited by Butenko R. G. – M: Nauka, 1991. – P. 5–20. [in Russian]

2. Feng R. The roles of selenium in protecting plants against abiotic stresses / R. Feng, C. Wei, S. Tu // *Environ. Exp. Bot.* – 2013. – Vol. 87. – P. 58–68. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2012.09.002

3. Sieprawaska A. Involvement of selenium in protective mechanisms of plants under environmental stress conditions – Review / A. Sieprawaska, A. Kornaś, M. Filek // *Acta Biologica Cracoviensia s. Botanica*. – 2015. Vol. 57 (1). – P. 9–20. DOI: 10.1515/abcsb-2015-0014

4. Turakainen M. Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch / M. Turakainen, H. Hartikainen, M. M. Seppanen // *J. Agric. Food Chem.* – 2004. – Vol. 52 (17). – P. 5378–5382.

5. Ramakrishna A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites / A. Ramakrishna, G. A. Ravishankar // *Plant Signal Behav.* – 2011. – Vol. 6 (11). – P. 1720–1731.

6. Sijanov N. S., Neustrueva S. N. Optimizacija uslovij vyrashhivaniya kul'tury tkani rauvol'fii zmeinoj [Optimization of conditions for growing rauwolfia zmeina tissue culture] / N. S. Sijanov, S. N. Neustrueva // *Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta* [Scientific Notes of the Kazan State University]. – 2008. – №150 (2). – P. 201–224. [in Russian]

7. Freeman J. L. Molecular mechanisms of selenium tolerance and hyperaccumulation in *Stanleya pinnata* / J. L. Freeman, M. Tamaoki, C. Stushnoff et al. // *Plant Physiology*. – 2010. – Vol. 153 (4). – P. 1630–1652. DOI: 10.1104/pp.110.156570

8. Mehrafarin A. A review on biology, cultivation and biotechnology of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) as a valuable medicinal plant and multipurpose / A. Mehrafarin, S. Rezazadeh, H. Naghdi Badi et al. // *Journal of Medicinal Plants*. – 2011. – Vol. 10 (37). – P. 6–24.

9. Logvina A. O. Fiziologo-biohimicheskie harakteristiki kletochnyh kul'tur *Trigonella foenum-graecum* [Physiological and biochemical characteristics of *Trigonella foenum-graecum* cell cultures]: dis. ... of PhD in Biology: 03.01.05: defense of the thesis 16.06.15: approved 20.11.2015 / Logvina Anna Olegovna. – Mn., 2015. – 239 p. [in Russian]

10. Lohvina H. Fenugreek cell culture in vitro as a potential source of phenolic antioxidants / H. Lohvina, V. Yurin // *Scientific enquire in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach. Natural sciences*. 3rd edition. – San Francisco, 2014. – P. 8–12.

11. Terry N. Selenium in higher plants / N. Terry, A. M. Zayed, M. P. De Souza // *Annu. Rev. Plant Biol.* – 2000. – Vol. 51. – P. 401–432.

12. Nosov A. M. Metody ocenki i harakteristiki rosta kul'tur kletok vysshih rastenij [Methods of assessment and characteristics of growth of cell cultures of higher plants] / A. M. Nosov // *Molekuljarno-geneticheskie i biohimicheskie metody v sovremennoj biologii rastenij* [Molecular, genetic and biochemical methods in modern plant biology]. – M.: Binom. Laboratorija znaniy, 2011. – P. 386–403. [in Russian]

13. Mokronosov A. T. Malyj praktikum po fiziologii rastenij [Brief practicum on plant physiology] / A. T. Mokronosov. – M.: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1994. – P.183. [in Russian]

14. Slinkard K. Total phenol analysis: automation and comparison with manuel methods / K. Slinkard, V. L. Singleton // *American journal of enology and viticulture*. – 1977. – Vol. 28. – P. 49–55.

15. Marxen K. Determination of DPPH radical oxidation caused by methanolic extracts of some microalgal species by linear regression analysis of spectrophotometric measurements / K. Marxen, K. H. Vanselow, S. Lippemeier et al. // *Sensors*. – 2007. – Vol. 7. – P. 2080–2095.

16. Achnine L. Colocalization of L-phenylalanine ammonia-lyase and cinnamate 4-hydroxylase for metabolic channeling in phenylpropanoid biosynthesis / L. Achnine, E. B. Blancaflor, S. Rasmussen // *The Plant Cell*. – 2004. – Vol. 16. – P. 3098–3109. DOI: 10.1105/tpc.104.024406

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.028>ВЛИЯНИЕ ВОДЫ, ОБОГАЩЕННОЙ МОЛЕКУЛЯРНЫМ ВОДОРОДОМ,
НА ПОВЕДЕНИЕ САМОК *CHINCHILLA LANIGERA*

Научная статья

Петров Д.В.^{1,*}, Иванов А.А.², Панина Е.В.³, Пантелева Н.В.⁴¹ ORCID: 0000-0002-4281-055X;³ ORCID: 0000-0001-6711-2873;^{1, 2, 3, 4} Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (petrov1983dmitriy[at]gmail.com)

Аннотация

Установлено, что включение в рацион животных воды, обогащенной молекулярным водородом, увеличивало общую долю активного поведения. Было выявлено, что животные контрольной группы на неактивные формы поведения (сон, дремота, отдых) затрачивали на сон и отдых больше времени в течение суток, чем в опытной группе. По активным формам поведения (прием корма, автокопрофагия, груминг, прием воды, перемещение по клетке, погрызание деревянного бруска, погрызание сетки клетки, погрызание деревянной полки, прием болуса, потягивание, почесывание, общение с шиншиллами соседней клетки) наибольшие различия были обнаружены по перемещению в клетке. Самки опытной группы затрачивали на передвижение в клетке больше времени, чем самки контрольной группы. На груминг у самок опытной группы затрачивалось больше времени в дневной и ночной период в отличие от контрольной группы. По пищевому поведению (прием корма, прием воды и автокопрофагия) выявлено, что в опытной группе на потребление корма шиншиллы расходовали больше времени, чем в контрольной.

Ключевые слова: *Chinchilla lanigera*; молекулярный водород; антиоксидант; этология; формы поведения.

INFLUENCE OF WATER ENRICHED WITH MOLECULAR HYDROGEN
ON THE BEHAVIOR OF *CHINCHILLA LANIGERA* FEMALES

Research article

Petrov D.V.^{1,*}, Ivanov A.A.², Panina E.V.³, Panteleva N.V.⁴¹ ORCID: 0000-0002-4281-055X;³ ORCID: 0000-0001-6711-2873;^{1, 2, 3, 4} Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

* Corresponding author (petrov1983dmitriy[at]gmail.com)

Abstract

The current article establishes that the inclusion of water enriched with molecular hydrogen in the diet of animals increases the total share of their active behavior. It was found that the animals from the control group spent more time on sleep and rest during the day for inactive behaviors (sleep, drowsiness, rest) than the animals from the experimental group. According to the active forms of behavior (consumption, autocoprophagy, grooming, taking water, moving around the cage, gnawing a wooden bar, gnawing the mesh of the cage, gnawing a wooden shelf, bolus feeding, stretching, scratching, communicating with the chinchillas of the neighboring cage), the greatest differences were found in moving around the cage. The females of the experimental group spent more time moving in the cage than the females of the control group. In contrast to the control group, the females of the experimental group spent more time on grooming during the day and night period. Based on the eating behavior (feed intake, water intake and autocoprophagia), it was established that in the experimental group, chinchillas spent more time on feed consumption than in the control group.

Keywords: *Chinchilla lanigera*; molecular hydrogen; antioxidant; ethology; forms of behavior.

Введение

Малая длиннохвостая шиншилла (*Chinchilla lanigera*) – грызун, обитающий в Южной Америке. В дикой природе они почти полностью исчезли, а их небольшие колонии сохранились только в чилийских заповедниках [1]. Во всем мире шиншилл выращивают на фермах для получения меха, содержат в качестве лабораторных и домашних животных. Для шиншилл характерен сумеречный образ жизни, поскольку наибольшую активность они проявляют в ночное время суток [2]. В настоящее время для повышения продуктивности и поддержания здоровья животных все чаще в корма вводят антиоксиданты – природные ингибиторы свободнорадикального окисления. К таким веществам относятся и молекулярный водород [3], [4], [5].

Молекулярный водород является антиоксидантом с благоприятными для организма физико-химическими свойствами, электрически нейтрален и имеет меньшую молекулярную массу в сравнении с кислородом [6]. Молекулярный водород может легко проникать в клеточные мембраны, ядро и митохондрии. Кроме того, молекулярный водород не оказывает негативного воздействия на физиологические процессы, происходящие как внутри клетки, так и на показатели организма в целом (температуру, кровяное давление, pH).

Молекулярный водород можно вводить различными способами: вдыханием H₂; с водой, обогащенной молекулярным водородом; приемом молекулярно-водородных ванн; использованием глазных капель с молекулярным водородом [7]. Обогащение организма H₂ увеличивает концентрацию водородного антиоксиданта в крови. Иногда прием воды, обогащенной молекулярным водородом (HRW) может оказывать более эффективный результат, чем вдыхание H₂, хотя концентрация молекулярного водорода в воде меньше, чем при ингаляциях [8]. Насыщение HRW молекулярным водородом достигает пика концентрации через 5-15 минут и возвращается к базовым значениям по истечению 45-90 мин после приема [9]. Избыток молекулярного водорода выводится из организма через легкие [10].

В этологическом аспекте влияние HRW не изучено, поэтому целью нашей работы стало выявление влияния HRW на поведенческую адаптацию самок малой длиннохвостой шиншиллы в условиях клеточного содержания.

Методы и принципы исследования

Для проведения этологического исследования были отобраны десять пар клинически здоровых самок *Chinchilla lanigera* двухмесячного возраста средней массой 268 грамм. Животных содержали в отдельных клетках при постоянной температуре ($19 \pm 2^\circ\text{C}$) с 12-часовыми циклами день/ночь и свободным доступом к корму и воде. Кормление осуществлялось вволю гранулированным комбикормом для шиншилл.

В каждую клетку помещались деревянные бруски для стачивания резцов. Поение обеих групп животных осуществлялось системой автоматического поения с одной лишь разницей, что к системе автоматического поения опытной группы был подключен аппарат для генерации HRW «*Lourdes HS-81*». Концентрация молекулярного водорода на выходе из ниппельных поилок опытной группы составляла 0,1-1,1 ppm в зависимости от режима работы аппарата. Аппарат для генерации H_2 включали два раза в сутки (режим генерации H_2) утром и вечером по 30 минут, до отключения таймера, все остальное время он работал в режиме ожидания.

По истечении 10 месяцев содержания в условиях эксперимента проводили этологическое исследование методом дистанционного наблюдения в течение 24 часов с использованием видеосистемы с четырьмя инфракрасными камерами, что позволило в течение суток вести удаленное наблюдение за поведением животных, включая дневное и ночное время и исключая фактор присутствия наблюдателя. При наблюдении за шиншиллами применяли приложение «Мультитаймер» версии 2.6.1.217. Цифровой материал обрабатывали методом вариационной статистики с использованием программы MsExcel. Для выявления статистически значимых различий использовали критерий Стьюдента-Фишера.

Основные результаты

Исследования показали, что включение воды, обогащенной молекулярным водородом с концентрацией водорода 0,1-1,1 ppm в рацион малой длиннохвостой шиншиллы в условиях клеточного содержания, оказало влияние в течение суток на различные формы поведения животных. По неактивным формам поведения, таким как сон, дремота, отдых, было выявлено, что самки контрольной группы в ночное время на сон затрачивали в среднем 57 минут времени за один паттерн, а в опытной группе на 40% меньше (23 минуты за один паттерн) (см. таблицу 1). У самок опытной группы по продолжительности сна пик был зафиксирован в 13 часов и составил 41 минуту, а в контрольной группе у самок максимальная продолжительность сна приходилась на 16 часов (40 минут). На сон самки контрольной группы затрачивали 6 часов суточного времени, а в опытной группе на 16% меньше (см. таблицу 1). На дремоту в обеих группах животные в дневное и ночное время суток затрачивали в среднем по 159 минут (см. таблицу 1). В суточной динамике пик этого показателя в обеих группах приходился на ночное время (20:00) и составил у самок в контрольной и опытной группе по 43 минуты. В суточном балансе на дремоту в обеих группах у самок приходилось 24% суточного времени (см. рисунок 5). Самки контрольной группы в течении суток затрачивали на отдых 8 часов, а в опытной группе – на 21% меньше (см. таблицу 1).

По активным формам поведения (прием корма, автокопрофагия, груминг, прием воды, перемещение по клетке, погрызание деревянного бруска, погрызание сетки клетки, погрызание деревянной полки, прием болюса, потягивание, почесывание, общение с шиншиллами соседней клетки) у самок контрольной группы приходилось 20%, а в опытной группе 30% суточного времени (см. рисунок 5). У самок на активное поведение расходовалось в контрольной группе 298 минут суточного времени, а в опытной на 33% больше ($p < 0,05$) (см. таблицу 1). В суточной динамике период активности животных в обеих группах наблюдался с 22:00 до 09:00, в контрольной группе 17 минут за один паттерн, а в опытной – 28 минут за один паттерн. Пик активности у опытной группы был зафиксирован в 01:00 и составил 36 минут, а в контрольной группе максимальное значение было выявлено в 08:00 (23 минут) (см. рисунок 1).

По перемещению по клетке в дневное время самки опытной группы затратили на 59% больше времени, чем самки контрольной группы (14 минут). Днем самки в контрольной группе перемещались по клетке 13 минут от дневного времени, а в опытной на 61% больше (см. таблицу 1). В ночное время суток наблюдалось повышение активности по данному показателю в обеих группах на 67% (см. таблицу 1). Самки опытной группы на 60% были активнее самок контрольной группы в ночное время (см. таблица 1). В суточной динамике период активности животных опытной группы приходился с 21:00 до 08:00 (в среднем 12 минут), а у контрольной с 21:00 до 09:00 (в среднем 3 минуты). В суточной динамике поведения самок контрольной группы по этому показателю пик активности был зафиксирован в 02:00 и составил 6 минут, а в опытной группе максимальное значение было выявлено в 22 часа (18 минут) (см. рисунок 2). Самки опытной группы в суточном балансе по форме поведения «перемещение по клетке» затрачивали на 5% времени больше, чем в контрольной группе (см. рисунок 5).

Таблица 1 – Мониторинг поведения самок в течении суток

формы поведения	группа					
	контрольная			опытная		
	время суток					
	дневное, мин.	ночное, мин.	сутки, мин.	дневное, мин.	ночное, мин.	сутки, мин.
сон	267±33,7	66±24,5	334±50,5	253±15,1	29±10,1	282±14,4
дремота	185±14,7	161±26,9	347±35,2	163±41,3	187±39,2	350±46,1
отдых	148±37,6	316±42,8	461±76,8	121±20,4	247±18,4	366±19,0
общее неактивное поведение	600±16,2	543±21,7	1142±26,8*	536±32,5	463±32,8	997±21,2*
погрызание сетки клетки	8±2,8	14±2,0	22±4,5	17±4,9	16±4,9	34±7,2
прием корма	25±4,1	53±6,7	79±9,4	32±4,3	61±2,9	94±3,3
прием болюса	43±10,3	7±3,8	51±10,0	46±9,2	2±1,1	49±10,1
прием воды	3±1,1	7±0,7	11±1,5	6±3,3	6±0,5	12±3,2
груминг	16±3,7	17±3,0	34±2,3	19±5,1	20±2,4	39±7,1
перемещение по клетке	13±2,4	40±12,3	54±13,9	33±10,1	100±31,5	133±40,2
погрызание деревянной полки	2±1,4	4±3,2	6±3,4	3±2,4	2±2,1	5±2,7
потягивание	0,3±0,13	0,2±0,08	0,7±0,21	2,7±2,24	0,2±0,09	3,0±2,2
почесывание	1,9±0,37	1,3±0,14	3,4±0,29	4,8±2,67	1,5±0,32	6,4 ±2,61
погрызание деревянного бруска	2,1±2,03	27±17,2	29±18,8	6±2,6	37±13,9	43±14,3
общение с шиншиллами соседней клетки	0,7±0,28	0,3±0,26	1,1 ± 0,43	3,2±2,11	1,0±0,92	4,4±2,2
общее активное поведение	119±16,2	177±21,7	298±26,7*	184±32,5	257±32,8	442±21,2*

Примечание: здесь и далее* - разница между контрольной и опытной группой при достоверности $P < 0,05$

По пищевому поведению, которое включало такие формы, как прием корма, прием воды и автокопрофагию, обнаружено, что на протяжении всего времени животные периодически проявляли данный тип активности. При потреблении корма самками опытной группы максимальное значение было зафиксировано в 05:00 (9 минут), а в контрольной группе – 06:00 (7 минут). В дневное время самки контрольной группы на потребление корма затрачивали в среднем по 25 минут, а в опытной на 22% больше времени (см. таблицу 1). В ночное время самки контрольной группы проявляли данный вид пищевой активности в течение 53 минут, а в опытной на 15 % больше времени. В течение суток шиншиллы в опытной группе на прием корма затрачивали 94 минуты, а в контрольной группе на 16% меньше (см. таблицу 1).

По форме поведения «прием воды» пищевая активность у шиншилл наблюдалась на протяжении всего суточного времени. По потреблению воды самки наибольшую активность проявили в 06:00, продолжительность в опытной группе составила 1 минуту, а в контрольной – 2 минуты. В суточном балансе *Chinchilla lanigera* на прием воды затрачивала 0,7-0,8% времени (см. рисунок 5).

У самок пищевая активность по автокопрофагии проявлялась с 07:00 до 19:00, при этом пик активности наблюдался в контрольной группе в 08:00 и составлял 8 минут за один паттерн, а в опытной группе – в 09:00 (15 минут). В дневное время животные на потребление болюса в среднем расходовали 6% времени (см. рисунок 3). В ночное время *Chinchilla lanigera* в среднем на потребление болюса затрачивали 0,3% - 1% (см. рисунок 4). В суточном балансе *Chinchilla lanigera* на прием болюса в обеих группах затрачивала 3% времени (см. рисунок 5).

По форме поведения «погрызание деревянного бруска» наблюдалось, что в контрольной группе самки затрачивали по 2% суточного времени, в опытной группе – 3% (см. рисунок 5). В контрольной группе на погрызание деревянного бруска в ночное время в среднем самки затрачивали на 92% времени больше, чем в дневное время (см. таблицу 1). В опытной группе самки расходовали в дневное время при погрызании деревянного бруска на 84 % меньше времени, чем в ночное время (см. таблицу 1). У самок в суточной динамике поведения пик активности приходился в контрольной группе на 01:00 и составил по продолжительности 11 минут за один паттерн, а в опытной группе – на 02:00 (10 минут).

По форме поведения «погрызание деревянной полки» выявили, что животные обеих групп затрачивали в среднем по 5 минут суточного времени (см. таблицу 1). В суточной динамике поведения по данному показателю пик активности наблюдался в обеих группах в 07:00 и составил по продолжительности 2 минуты.

На форму поведения «груминг» самки контрольной группы расходовали 2% суточного времени, а в опытной группе – 3% (см. рисунок 5). У самок в дневное и ночное время в контрольной группе активность составила 16-17 минут, а в опытной группе – на 13% больше (см. таблицу 1). В суточной динамике поведения шиншилл груминг наблюдался на

протяжении всего времени. Самки контрольной группы максимальную активность по грумингу проявили в 9:00 (3 минуты), а в опытной группе – в 6:00 (3 минуты).

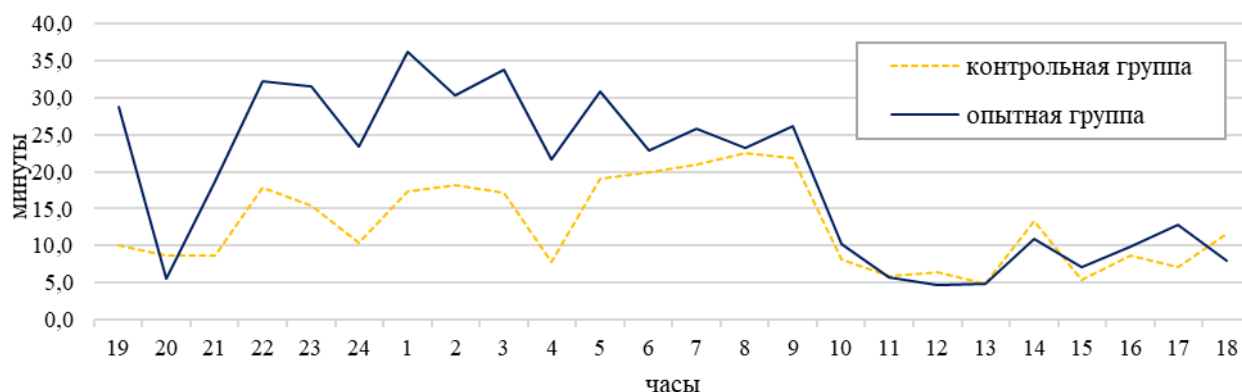


Рис. 1 – Суточная динамика активного поведения самок малой длиннохвостой шиншиллы

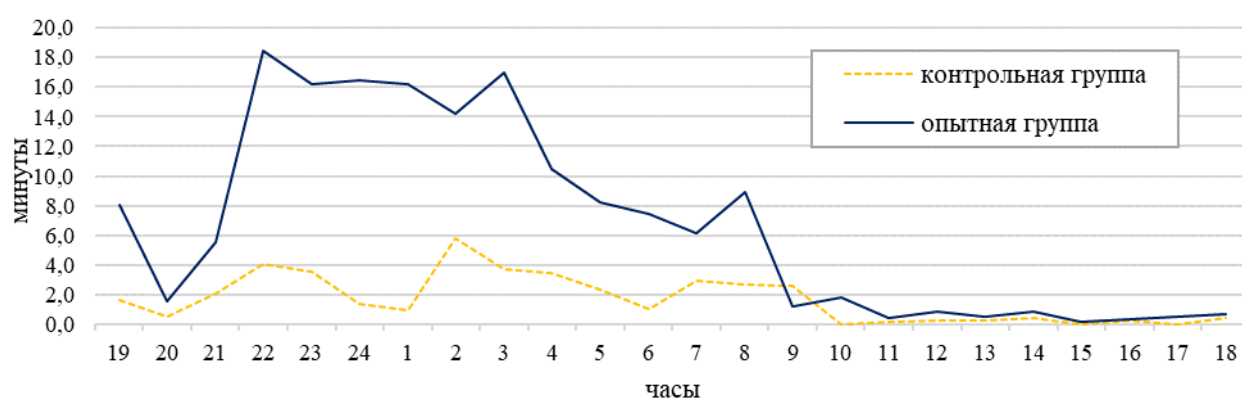


Рис. 2 – Суточная динамика самок малой длиннохвостой шиншиллы по форме поведения «перемещение по клетке»

На такие активные формы поведения как потягивание, почесывание, общение с шиншиллами соседней клетки приходилось на обе группы в среднем по 0,3-1% суточного времени (см. рисунок 5) По данным формам поведения существенных различий между группами не обнаружено.

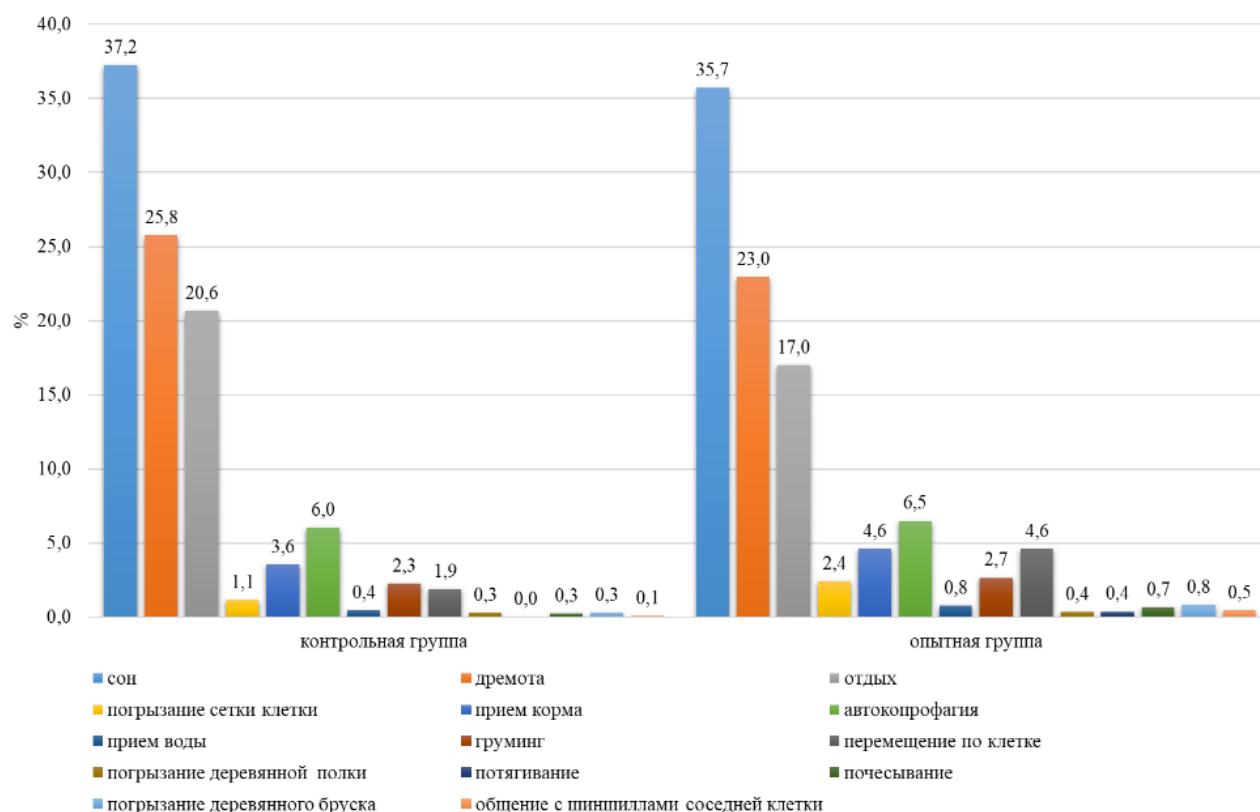


Рис. 3 – Поведение самок малой длиннохвостой шиншиллы в дневное время суток

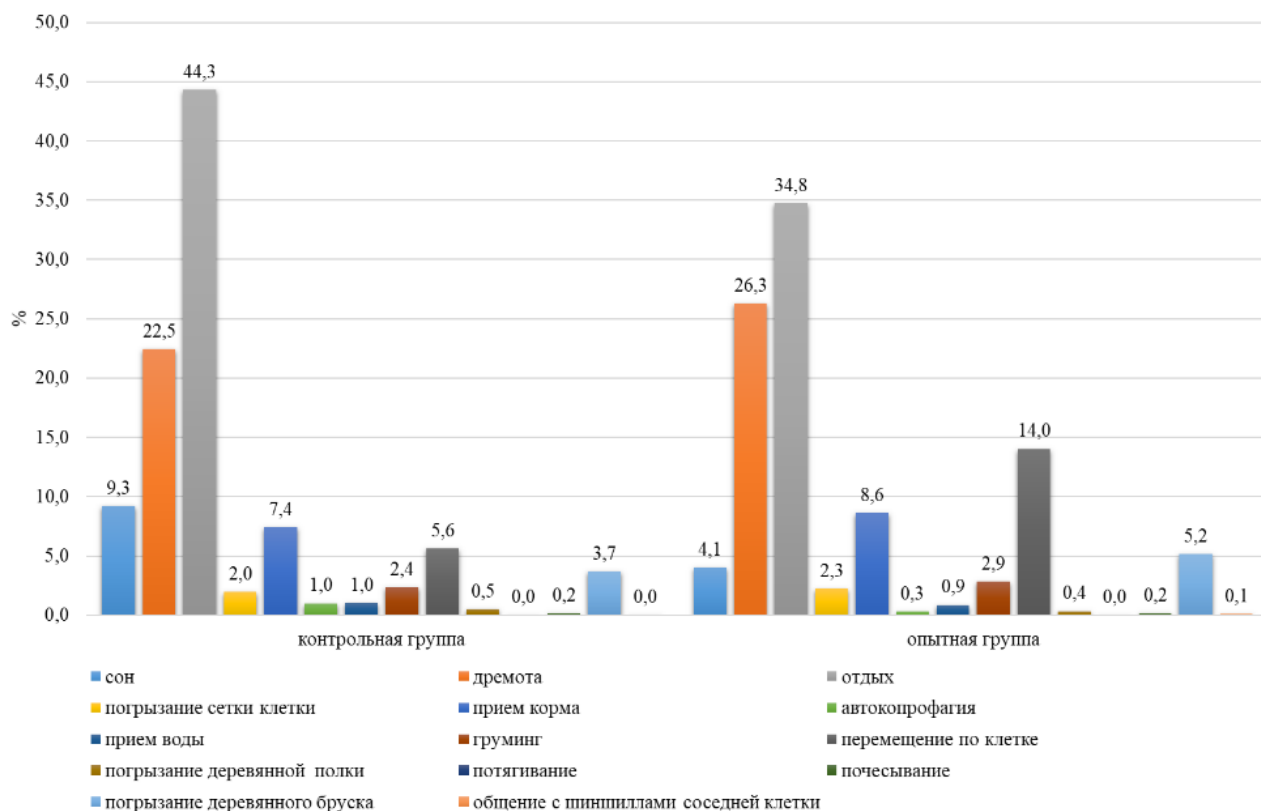


Рис. 4 – Поведение самок малой длиннохвостой шиншиллы в ночное время суток

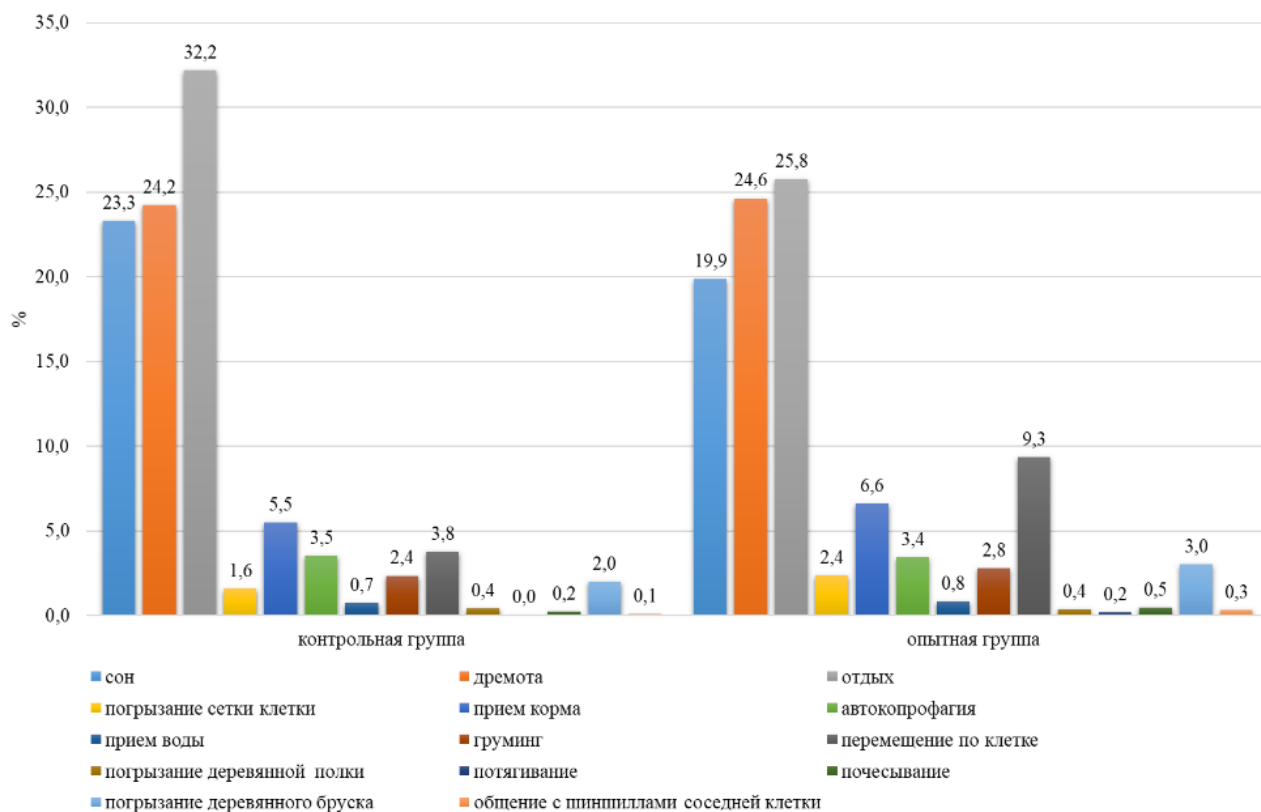


Рис. 5 – Поведение самок малой длиннохвостой шиншиллы в течение суток

Заключение

В результате экспериментального исследования нами было обнаружено, что включение воды, обогащенной молекулярным водородом, в рацион малой длиннохвостой шиншиллы увеличивало общую суточную активность у самок опытной группы на 33% ($p < 0,05$), по сравнению с животными контрольной группы. Наибольшее различие среди активных форм поведения наблюдалось по форме «перемещение по клетке». В дневное и ночное время самки опытной группы затрачивали на перемещение по клетке на 60% больше времени, чем самки контрольной группы. В опытной группе на сон затрачивалось на 16% меньше, а на отдых – на 21% меньше суточного времени, чем в контрольной.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Valladares P. Nuevo registro de Chinchilla chinchilla (Rodentia, Chinchillidae) para la región de Atacama, Chile Implicancias para su estado de conservación / P. Valladares, M. Espinosa, M. Torres et al. // Mastozoologia Neotropical. - 2012. - №19-1. - P. 173-178.
2. Panina E. Behavior of Chinchilla lanigera under cage keeping with the introduction of molecular hydrogen into the diet / E. Panina, A. Ivanov, D. Petrov et al. // E3S Web of Conferences. – 2021. - №254, P. 08008.
3. Fan L. Controllable synthesis of hydrogen bubbles via aeration method for efficient antioxidant process / L. Fan, H. Chen, J. Liang et al. // Applied Nanoscience. – 2021. - №11. – P. 833–840.
4. Jafta N. The Production and Role of Hydrogen-Rich Water in Medical Applications / N. Jafta, S. Magagula, K. Lebelo, et al. // Applied Water Science. – 2021. - №1.
5. Hancock J.T. Molecular Hydrogen: Redox Reactions and Possible Biological Interactions / J.T. Hancock, T.W. LeBaron, G. Russell // Reactive Oxygen Species. - 2021. - №11. – P. 17-25.
6. Fu J. Hydrogen molecules (H₂) improve perfusion recovery via antioxidant effects in experimental peripheral arterial disease / J. Fu, J. Zou, C. Chen et al. // Molecular Medicine Reports. - 2018. - №18-6. – P. 5009-5015.
7. Sato T. 1.2% Hydrogen gas inhalation protects the endothelial glycocalyx during hemorrhagic shock: a prospective laboratory study in rats / T. Sato, S. Mimuro, T. Katoh et al. // J. Anesthesia. - 2020. - №34. - P. 268–275.
8. LeBaron T.W. Acute Supplementation with Molecular Hydrogen Benefits Submaximal Exercise Indices. Randomized, Double-Blinded, Placebo-Controlled Crossover Pilot Study / T.W. LeBaron, A.J. Larson, S. Ohta et al. // J. Lifestyle Med. - 2019. - №91. - P. 36-43.
9. Hirayama M. Inhalation of hydrogen gas elevates urinary 8-hydroxy-2'-deoxyguanine in Parkinson's disease / M. Hirayama, M. Ito, T. Minato et al. // Med. Gas Res. - 2018. - №8-4. - P. 144-149.
10. Tamasawa A. Hydrogen gas production is associated with reduced interleukin-1 β mRNA in peripheral blood after a single dose of acarbose in Japanese type 2 diabetic patients / A. Tamasawa, K. Mochizuki, N. Hariya et al. // Eur. J. Pharmacol. - 2015. - №762. - P. 96-101.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.029>**ВЛИЯНИЕ ВОДЫ, ОБОГАЩЕННОЙ МОЛЕКУЛЯРНЫМ ВОДОРОДОМ,
НА ПОВЕДЕНИЕ САМЦОВ *CHINCHILLA LANIGERA***

Научная статья

Петров Д.В.^{1,*}, Иванов А.А.², Панина Е.В.³, Пантелеев С.В.⁴¹ ORCID: 0000-0002-4281-055X;³ ORCID: 0000-0001-6711-2873;^{1, 2, 3, 4} Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (petrov1983dmitriy[at]gmail.com)

Аннотация

Установлено, что включение воды, обогащенной молекулярным водородом в рацион животных, увеличивало общую долю активного поведения. По неактивным формам поведения (сон, дремота, отдых) выявлено, что в течение суток самцы контрольной группы затрачивали больше времени, чем в опытной группе. По активным формам поведения таким как перемещение по клетке было выявлено, что самцы опытной группы затрачивали больше времени, чем в контрольной группе. По форме поведения «погрызание сетки клетки» наблюдалось, что самцы в контрольной группе проявляли большую активность, чем в опытной группе. В течение суток по форме поведения «прием корма» самцы в опытной группе расходовали меньше времени, чем в контрольной группе, также у самцов контрольной группы затрачивалось больше времени на потребление болюса, чем в опытной группе. По грумингу в опытной группе активность была выше, чем в контрольной.

Ключевые слова: *Chinchilla lanigera*; молекулярный водород; антиоксидант; этология; формы поведения.**ON THE INFLUENCE OF WATER ENRICHED WITH MOLECULAR HYDROGEN
ON THE BEHAVIOR OF *CHINCHILLA LANIGERA* MALES**

Research article

Petrov D.V.^{1,*}, Ivanov A.A.², Panina E.V.³, Panteleev S.V.⁴¹ ORCID: 0000-0002-4281-055X;³ ORCID: 0000-0001-6711-2873;^{1, 2, 3, 4} Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

* Corresponding author (petrov1983dmitriy[at]gmail.com)

Abstract

The current study establishes that the inclusion of water enriched with molecular hydrogen in the diet of animals increases their overall share of active behavior. During the day the males of the control group spent more time on inactive forms of behavior (sleep, drowsiness, rest) than in the experimental group. The males of the experimental group spent more time on active forms of behavior, such as moving around the cell, than in the control group. Based on the behavior "gnawing the cage grid", it was observed that males in the control group showed more activity than in the experimental group. During the 24 hour cycle, the males in the experimental group spent less time feeding than in the control group, while the males of the control group spent more time on bolus consumption than in the experimental group. In regards to grooming behaviour, the activity in the experimental group was higher than in the control group.

Keywords: *Chinchilla lanigera*; molecular hydrogen; antioxidant; ethology; forms of behavior.**Введение**

Малая длиннохвостая шиншилла (*Chinchilla lanigera*) – грызун, обитающий в Южной Америке. В дикой природе они почти полностью исчезли, а их небольшие колонии сохранились только в чилийских заповедниках [1]. Во всем мире шиншиллы выращивают на фермах для получения меха, содержат в качестве лабораторных и домашних животных. Для шиншиллы характерен сумеречный образ жизни, поскольку наибольшую активность они проявляют в ночное время суток [2]. В настоящее время для повышения продуктивности и поддержания здоровья животных всё чаще в корма вводят антиоксиданты – природные ингибиторы свободнорадикального окисления. К таким веществам относится и молекулярный водород [3], [4], [5].

Молекулярный водород является антиоксидантом с благоприятными для организма физико-химическими свойствами, электрически нейтрален и имеет меньшую молекулярную массу в сравнении с кислородом [6]. Молекулярный водород может легко проникать в клеточные мембраны, ядро и митохондрии. Кроме того, молекулярный водород не оказывает негативного воздействия на физиологические процессы, происходящие как внутри клетки, так и на показатели организма в целом (температуру, кровяное давление, pH).

Молекулярный водород можно вводить различными способами: вдыханием H₂; с водой, обогащенной молекулярным водородом; приемом молекулярно-водородных ванн; использованием глазных капель с молекулярным водородом [7]. Обогащение организма H₂ увеличивает концентрацию водородного антиоксиданта в крови. Иногда прием воды, обогащенной молекулярным водородом (HRW) может оказывать более эффективный результат, чем вдыхание H₂, хотя концентрация молекулярного водорода в воде меньше, чем при ингаляциях [8]. Насыщение HRW молекулярным водородом достигает пика концентрации через 5-15 минут и возвращается к базовым значениям по истечению 45-90 мин после приема [9]. Избыток молекулярного водорода выводится из организма через лёгкие [10].

В этологическом аспекте влияние HRW мало изучено, поэтому целью нашей работы стало выявление влияния HRW на поведенческую адаптацию самцов малой длиннохвостой шиншиллы в условиях клеточного содержания.

Методы и принципы исследования

Для проведения этологического исследования были отобраны десять клинически здоровых самцов *Chinchilla lanigera* двухмесячного возраста средней массой 258 грамм. Животных содержали в отдельных клетках при постоянной температуре ($19 \pm 2^\circ\text{C}$) с 12-часовыми циклами день/ночь и свободным доступом к корму и воде. Кормление осуществлялось вволю гранулированным комбикормом для шиншилл.

В каждую клетку помещались деревянные бруски для стачивания резцов. Поение обеих групп животных осуществлялось системой автоматического поения с одной лишь разницей, что к системе автоматического поения опытной группы был подключен аппарат для генерации HRW «Lourdes HS-81». Концентрация молекулярного водорода на выходе из ниппельных поилок опытной группы составляла 0,1-1,1 ppm в зависимости от режима работы аппарата. Аппарат для генерации H_2 включали два раза в сутки (режим генерации H_2) утром и вечером по 30 минут, до отключения таймера, всё остальное время он работал в режиме ожидания.

По истечении 10 месяцев содержания в условиях эксперимента проводили этологическое исследование методом дистанционного наблюдения в течение 24 часов с использованием видеосистемы с четырьмя инфракрасными камерами, что позволило в течение суток вести удалённое наблюдение за поведением животных, включая дневное и ночное время. Важно отметить, что данный метод исследований исключал фактор присутствия наблюдателя. При наблюдении за шиншиллами применяли приложение «Мультитаймер» версии 2.6.1.217.

Основные результаты

Исследования показали, что включение воды, обогащённой молекулярным водородом с концентрацией водорода 0,1-1,1 ppm в рацион самцов малой длиннохвостой шиншиллы в условиях клеточного содержания оказало влияние в течение суток на различные формы поведения животных. По неактивным формам поведения, таким как сон, дремота, отдых, было выявлено, что самцы контрольной группы в ночное время на сон затрачивали в среднем 57 минут времени, а в опытной группе на 40% меньше (23 минуты) (см. таблицу 1). По продолжительности сна пик был зафиксирован у самцов контрольной группы в 12 часов дня и составлял 46 минут за один паттерн, а у самцов опытной группы – на 13 часов (46 минут). На сон шиншиллы контрольной группы затрачивали 23% суточного времени, а в опытной группе 21% суточного времени (см. рисунок 1). В суточной динамике пик дремоты в обеих группах приходился на ночное время (20:00) и составил у самцов в контрольной группе 28 минут, а в опытной – 42 минуты. В суточном балансе на дремоту в обеих группах у самцов приходилось по 20% суточного времени. На отдых самцы обеих групп затрачивали по 16% дневного времени (см. рисунок 3) и 38% ночного времени (см. рисунок 4). Максимальное значение во время отдыха у самцов контрольной группы было зафиксировано в 1 час и составляло 41 минуту, а у опытной группы в 24 часа – 33 минуты.

По активным формам поведения (прием корма, автокопрофагия, груминг, прием воды, перемещение по клетке, погрызание деревянного бруска, погрызание сетки клетки, погрызание деревянной полки, прием болюса (автокопрофагия), потягивание, почесывание, общение с шиншиллами соседней клетки) у самцов контрольной группы в суточном балансе приходилось 30%, а у самцов опытной группы – 33% времени. В сутки самцы контрольной группы затрачивали на активное поведение 436 минут, а в опытной группе на 10 % больше времени. По перемещению по клетке в дневное время самцы опытной группы затратили на 55% больше времени, чем самцы контрольной группы – 24 минуты. В среднем днём в контрольной группе животные перемещались по клетке 19 минут от дневного времени, а в опытной на 56% больше (см. таблицу 1). В ночное время суток наблюдалось повышение активности по данному показателю в контрольной группе на 77%, а в опытной – на 67% по сравнению с дневным временем (см. таблицу 1). Самцы опытной группы на 24% были активнее самцов контрольной группы в ночное время. В суточной динамике период активности животных приходился с 22:00 до 08:00 в опытной группе у самцов (в среднем 15 минут), а у контрольной в среднем 9 минут. У самцов в контрольной группе максимальное значение было зафиксировано в 23:00 и составило 21 минут за один паттерн, а у опытной группы 01:00 (21 минуту) (см. рисунок 2).

Таблица 1 – Мониторинг поведения самцов в течении суток

формы поведения	группа					
	контрольная			опытная		
	время суток					
	дневное, мин.	ночное, мин.	сутки, мин.	дневное, мин.	ночное, мин.	сутки, мин.
сон	280±24,0	47±20,0	328±27,7	276±20,3	18±5,7	295±23,3
дремота	175±15,1	118±22,6	293±30,9	160±10,8	125±13,4	285±22,5
отдых	113±14,6	273±53,6	384±54,6	111±9,6	270±43,2	378±49,3
общее неактивное поведение	568±20,0	438±48,1	1004±44	546±14,6	414±42,8	958±34,3
погрызание сетки клетки	6±1,5	39±15,3	45±15,5	8±1,7	14±4,7	22±5,6
прием корма	31±5,4	45±8,4	76±12,1	24±4,3	48±6,5	72±6,3
автокопрофагия	47±9,7	6±1,6	53±11,3	44±12,9	2±0,7	46±13,4
прием воды	3±0,52	6±1,3	9±1,2	2±0,46	6±0,83	8±1,3

Окончание таблицы 1 – Мониторинг поведения самцов в течении суток

формы поведения	группа					
	контрольная			опытная		
	время суток					
	дневное, мин.	ночное, мин.	сутки, мин.	дневное, мин.	ночное, мин.	сутки, мин.
груминг	22±2,1	21±3,4	43±2,6	28±4,5	31±13,7	59±16,5
перемещение по клетке	24±4,0	121±32,8	144±34,9	53±15,1	158±36,3	210±40,5
погрызание деревянной полки	11±5,8	13±5,8	24±10,1	3±1,1	4±3,0	7±2,8
потягивание	0,6±0,21	0,1±0,09	0,9±0,29	0,6±0,19	0,2±0,08	0,9±0,32
почесывание	2,2±0,53	1,8±0,32	4,1±0,58	2,7±0,72	2,1±0,57	4,8±0,80
погрызание деревянного бруска	1,1±0,69	23±6,3	24±6,6	2,3±0,58	37±14,0	39±14,2
общение с шиншиллами соседней клетки	1,6±0,80	1,0±0,39	2,8±1,03	1,1±0,48	1,6±0,69	2,8±1,17
общее активное поведение	152±20,0	282±48,1	436±44,3	174±14,6	307±42,8	482±34,3

По пищевому поведению, которое включало такие формы, как приём корма, приём воды и автокопрофагию, обнаружено, что животные периодически проявляли данный тип активности на протяжении всего времени. Максимальное значение у животных обеих групп зафиксировано в 9:00, но в опытной группе пищевое поведение более продолжительно и составило 16 минут, что на 3,2 минуты больше, чем в контрольной.

По форме поведения «приём корма» пищевая активность у *Chinchilla lanigera* наблюдалась на протяжении всего суточного времени, при этом максимальное значение у самцов в опытной группе приходилось на 06:00 и составляло 9 минут, а в контрольной на 15:00 (8 минут). В дневное время самцы контрольной группы на потребление корма затрачивали в среднем на 22% больше времени, чем в опытной группе (24 минуты) (см. таблицу 1). В ночное время самцы затрачивали в контрольной группе на потребление корма 45 минут времени, а в опытной группе на 6% больше. В течение суток шиншиллы в опытной группе на приём корма затрачивали на 5% меньше, чем в контрольной группе (см. таблицу 1).

По форме поведения «приём воды» пищевая активность у шиншилл наблюдалась на протяжении всего суточного времени, при этом у самцов максимальная продолжительность потребления воды составила 1 минуту и в опытной группе приходилось на 23:00, а в контрольной группе – 06:00. В дневное время животные на питьё затрачивали в среднем по 3 минуты (см. таблицу 1), а в ночное время по 6 минут (см. таблицу 1). В суточном балансе самцы на приём воды затрачивали 0,6% - 0,7% времени (см. рисунок 5).

По форме поведения «автокопрофагия» активность в суточной динамике наблюдалась с 08:00 до 19:00 часов, при этом у самцов максимальная продолжительность поедания болюса приходится на 09:00 в среднем по 11-12 минут. В дневное время животные на потребление болюса в среднем расходовали 6,2% - 6,6% времени (см. рисунок 3). В ночное время шиншиллы контрольной группы затрачивали в среднем на потребление болюса 7 минут, а в опытной на 71% времени меньше (см. таблицу 1). В течение суток самцы контрольной группы расходовали при приёме болюса на 13% больше времени, чем в опытной группе (46 минут) (см. таблицу 1).

По форме поведения «погрызание сетки клетки» выявили, что самцы в контрольной группе затрачивали 3% суточного времени, в опытной группе – 1,6% (см. рисунок 5). У самцов контрольной группы на погрызание сетки клетки в среднем уходило 6 минут дневного времени, а у самцов опытной группы на 23% больше (см. таблицу 1). В ночное время активность по данной форме поведения по сравнению с дневным временем в контрольной группе возрастает, у самцов на 83% времени (см. таблицу 1). В опытной группе данный показатель у самцов увеличивается на 39% времени (см. таблицу 1). В суточной динамике поведения самцов наблюдается пик активности по погрызанию сетки клетки в контрольной группе в 22:00 (7 минут), а в опытной группе в 05:00 (3 минуты).

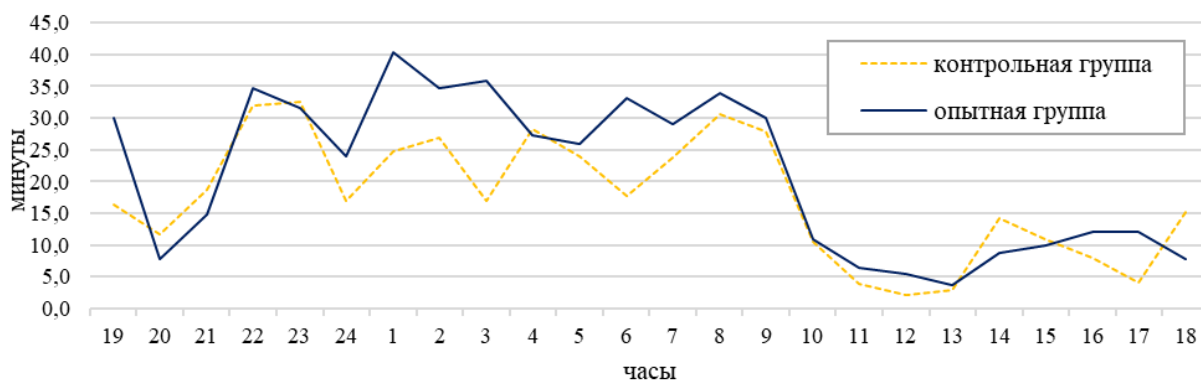


Рис. 1 – Суточная динамика активного поведения самцов малой длиннохвостой шиншиллы

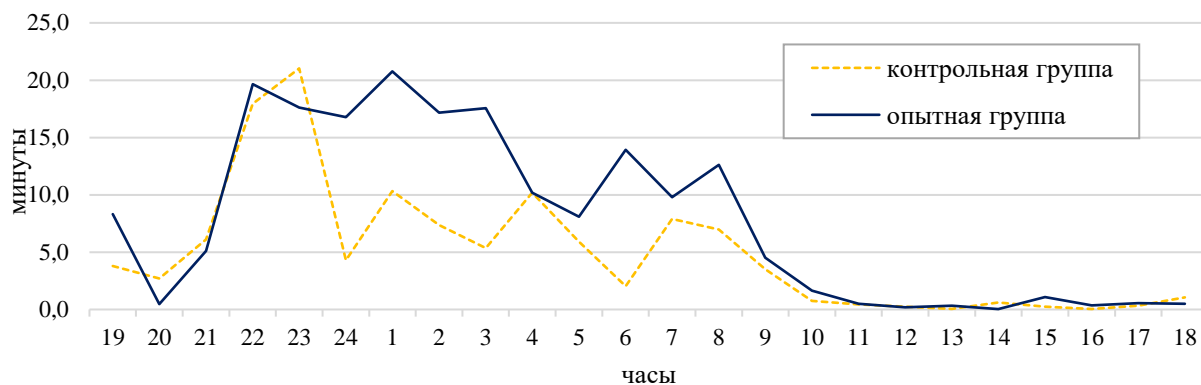


Рис. 2 – Суточная динамика самцов малой длиннохвостой шиншиллы по форме поведения «перемещение по клетке»

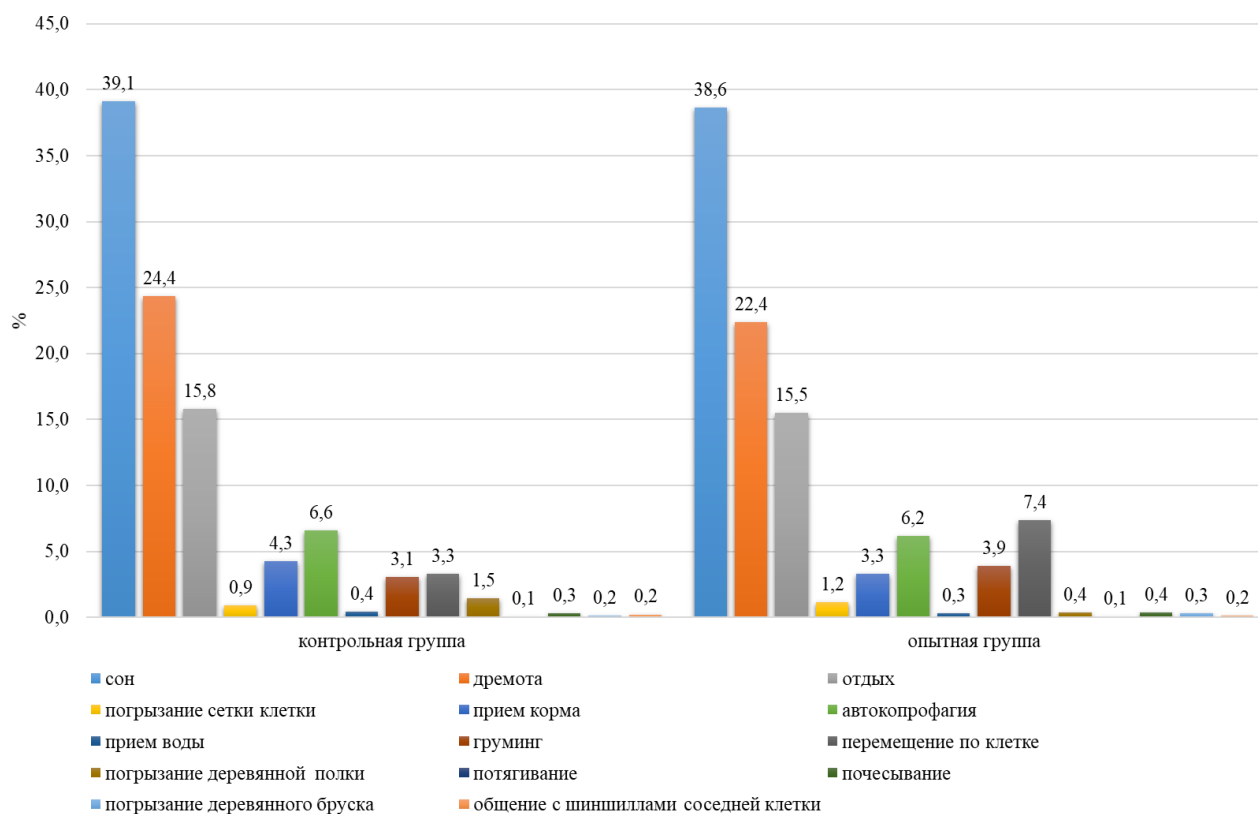


Рис. 3 – Поведение самцов малой длиннохвостой шиншиллы в дневное время суток

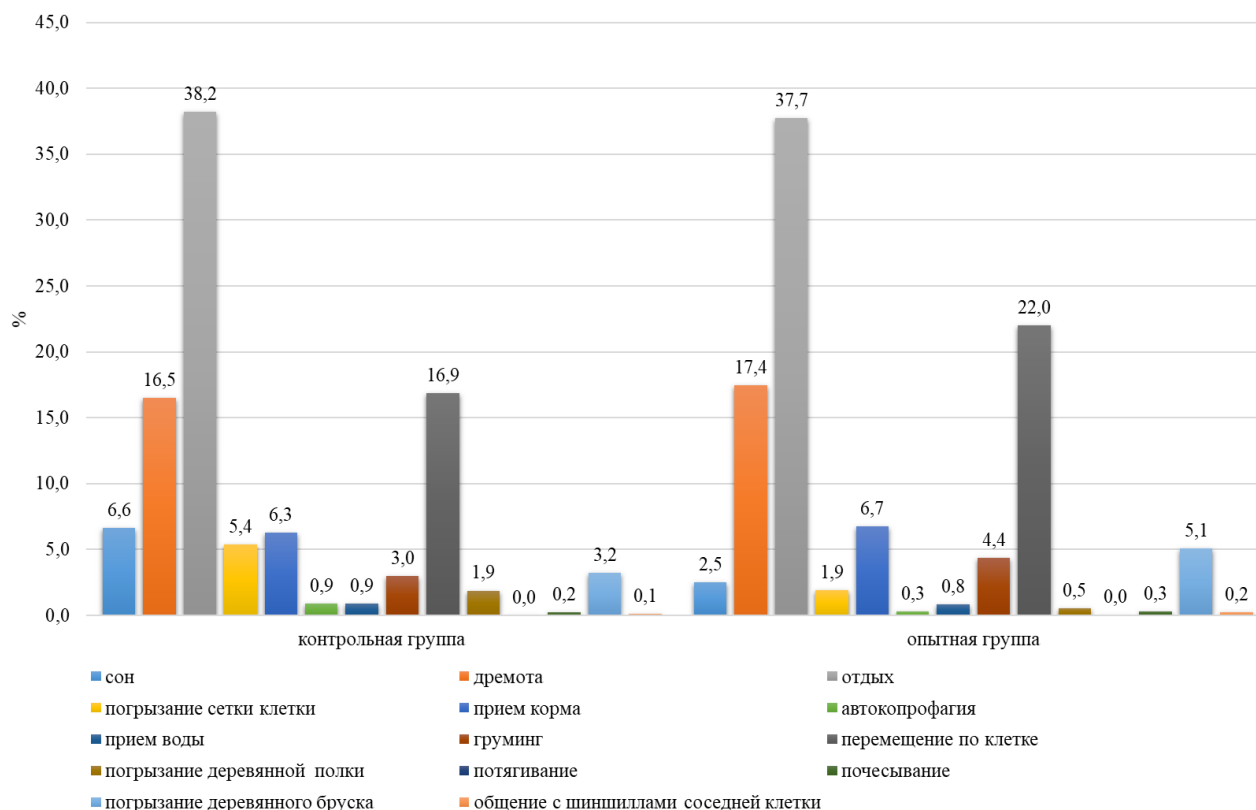


Рис. 4 – Поведение самцов малой длиннохвостой шиншиллы в ночное время суток

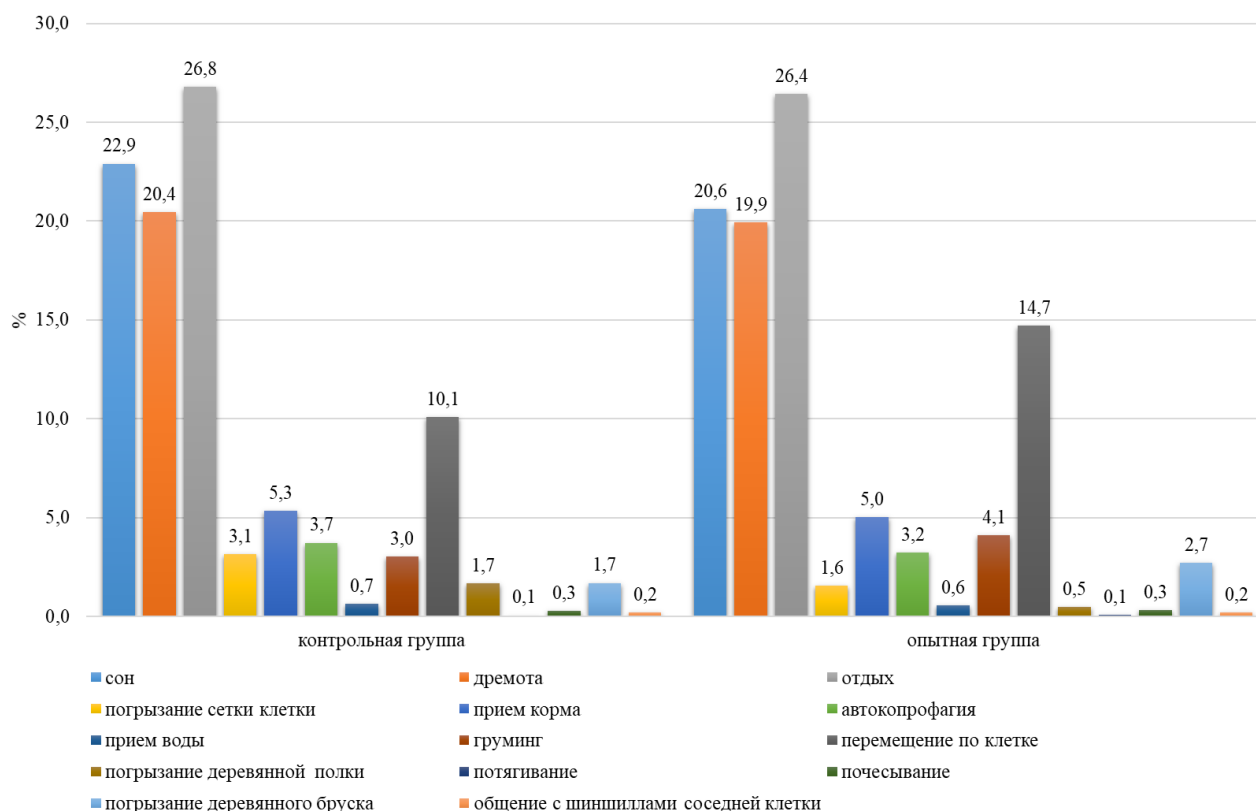


Рис. 5 – Поведение самцов малой длиннохвостой шиншиллы в течение суток

По форме поведения «погрызание сетки клетки» наблюдалось, что самцы в контрольной группе на 51% расходовали больше времени в течении суток, чем в опытной группе (22 минуты) (см. таблицу 1). Самцы *Chinchilla lanigera* на погрызание сетки клетки в дневное время в среднем затрачивали 0,9% - 1,2% времени (см. рисунок 3). В ночное время самцы контрольной группы затрачивали при погрызании сетки на 64% больше времени, чем в опытной группе (14 минут) (см. таблицу 1). Пик активности по погрызанию сетки клетки у самцов контрольной группы был зафиксирован в 22:00 и составил 7 минут, а в опытной группе пик приходился на 05:00 (3 минуты).

По форме поведения «погрызание деревянного бруска» наблюдалось, что самцы в опытной группе на 38% расходовали больше времени в течении суток, чем в контрольной группе (24 минуты) (см. таблицу 1). Самцы *Chinchilla lanigera* на погрызание деревянного бруска в ночное время в среднем затрачивали на 95% больше времени, чем в

дневное время (см. таблицу 1). В суточной динамике по данной форме поведения у самцов обеих групп наблюдался пик активности в 01:00 и составлял по продолжительности в контрольной группе 5 минут, а в опытной группе в 8 минут.

По форме поведения «погрызание деревянной полки» выявили, что в опытной группе самцы затрачивали в среднем 7 минут суточного времени, в контрольной группе – на 71% больше времени (см. таблицу 1). В суточной динамике поведения самцов по погрызанию деревянной полки максимальное значение было зафиксировано в контрольной группе в 09:00 (7 минут), а в опытной группе в 07:00 (2 минуты).

По форме поведения «груминг» выявили, что самцы контрольной группы затрачивали в среднем 43 минуты суточного времени, а в опытной группе на 27% больше (см. таблицу 1). В дневное время самцы контрольной группы затрачивали 22 минуты, а в опытной группе – на 21% больше. В ночное время самцы контрольной группы расходовали 21 минуту, а в опытной группе – на 22% больше времени (см. таблицу 1). В суточной динамике поведения шиншиллы груминг наблюдался на протяжении всего времени. У самцов контрольной группы пик активности был зафиксирован в 14:00 и составил 6 минут, в опытной группе максимальное значение наблюдалось в 9:00 (8 минут).

На такие активные формы поведения как потягивание, почесывание, общение с шиншиллами соседней клетки приходилось на обе группы в среднем по 0,5% - 0,6% суточного времени (см. рисунок 5). По данным формам поведения существенных различий между группами не обнаружено.

Заключение

В результате экспериментального исследования нами было обнаружено, что включение воды, обогащенной молекулярным водородом, в рацион самцов *Chinchilla lanigera* опытной группы увеличивало их общую активность на 10%, по сравнению с самцами контрольной группы. Наибольшее различие среди активных форм поведения проявлялось по форме поведения «перемещение по клетке». В дневное время самцы опытной группы затрачивали на перемещение по клетке на 55% больше времени, чем животные контрольной группы. Также, было обнаружено, что в ночное время самцы опытной группы затрачивали при погрызании сетки клетки на 64% меньше времени, чем в контрольной группе.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Valladares P. Nuevo registro de *Chinchilla chinchilla* (Rodentia, Chinchillidae) para la región de Atacama, Chile. Implicancias para su estado de conservación / P. Valladares, M. Espinosa, M. Torres et al. // *Mastozoología Neotropical*. - 2012. - №19-1. - P. 173-178.
2. Panina E. Behavior of *Chinchilla lanigera* under cage keeping with the introduction of molecular hydrogen into the diet / E. Panina, A. Ivanov, D. Petrov et al. // *E3S Web of Conferences*. – 2021. - №254, P. 08008.
3. Fan L. Controllable synthesis of hydrogen bubbles via aeration method for efficient antioxidant process / L. Fan, H. Chen, J. Liang et al. // *Applied Nanoscience*. – 2021. - №11. – P. 833–840.
4. Jafta N. The Production and Role of Hydrogen-Rich Water in Medical Applications / N. Jafta, S. Magagula, K. Lebelo, et al. // *Applied Water Science*. – 2021. - №1.
5. Hancock J.T. Molecular Hydrogen: Redox Reactions and Possible Biological Interactions / J.T. Hancock, T.W. LeBaron, G. Russell // *Reactive Oxygen Species*. - 2021. - №11. – P. 17-25.
6. Fu J. Hydrogen molecules (H_2) improve perfusion recovery via antioxidant effects in experimental peripheral arterial disease / J. Fu, J. Zou, C. Chen et al. // *Molecular Medicine Reports*. - 2018. - №18-6. – P. 5009-5015.
7. Sato T. 1.2% Hydrogen gas inhalation protects the endothelial glycocalyx during hemorrhagic shock: a prospective laboratory study in rats / T. Sato, S. Mimuro, T. Katoh et al. // *J. Anesthesia*. - 2020. - №34. - P. 268–275.
8. LeBaron T.W. Acute Supplementation with Molecular Hydrogen Benefits Submaximal Exercise Indices. Randomized, Double-Blinded, Placebo-Controlled Crossover Pilot Study / T.W. LeBaron, A.J. Larson, S. Ohta et al. // *J. Lifestyle Med*. - 2019. - №91. - P. 36-43.
9. Hirayama M. Inhalation of hydrogen gas elevates urinary 8-hydroxy-2'-deoxyguanine in Parkinson's disease / M. Hirayama, M. Ito, T. Minato et al. // *Med. Gas Res*. - 2018. - №8-4. - P. 144-149.
10. Tamasawa A. Hydrogen gas production is associated with reduced interleukin-1 β mRNA in peripheral blood after a single dose of acarbose in Japanese type 2 diabetic patients / A. Tamasawa, K. Mochizuki, N. Hariya et al. // *Eur. J. Pharmacol*. - 2015. - №762. - P. 96-101.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.030>**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АНАЭРОБНОГО СБРАЖИВАНИЯ
ЖИДКИХ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ОТХОДОВ**

Научная статья

Оковитая К.О.¹, Ракульцева М.А.^{2, *}, Суржко О.А.³³ ORCID: 0000-0003-1944-3816;^{1, 2, 3} Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И.Платова,
Новочеркасск, Россия

* Корреспондирующий автор (rakultseva.marina[at]gmail.com)

Аннотация

В статье представлены результаты теоретических исследований анаэробного сбраживания биоразлагаемых отходов агропромышленных комплексов и жилищно-коммунальных хозяйств. Изучены результаты совместных исследований немецкого Центра биомасс и Казанского федерального университета. Предложена и обоснована схема двухфазной биогазовой установки с вакуумированием и ферментацией субстрата, схема с биореактором гидролиза и пятисекционным биореактором метаногенеза. Предложено использование теплообменника для охлаждения субстрата из первого биореактора и подогрева исходного субстрата. Внедрение разработанной схемы позволит сократить время процесса анаэробного сбраживания биоразлагаемых отходов до 12-15 суток, сократить капитальные затраты на строительство биогазовых установок и повысить выход биогаза.

Ключевые слова: жидкие биоразлагаемые отходы, ферментация, метаногенез, биогаз, двухфазное анаэробное сбраживание.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF ANAEROBIC DIGESTION OF LIQUID BIODEGRADABLE WASTE

Research article

Okovitaya K.O.¹, Rakultseva M.A.^{2, *}, Surzhko O.A.³³ ORCID: 0000-0003-1944-3816;^{1, 2, 3} Platov South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russia

* Corresponding author (rakultseva.marina[at]gmail.com)

Abstract

The article presents the results of theoretical studies of anaerobic digestion of biodegradable waste from agro-industrial complexes and housing and communal services. The authors examine the results of joint research of the German Biomass Research Center and Kazan Federal University. The study proposes and justifies a scheme of a two-phase biogas plant with vacuuming and fermentation of the substrate, a scheme with a hydrolysis bioreactor and a five-section methanogenesis bioreactor. Also, the authors propose using a heat exchanger for cooling the substrate from the first bioreactor and heating the initial substrate. The implementation of the developed scheme will reduce the time of the process of anaerobic digestion of biodegradable waste to 12-15 days, reduce capital costs for the construction of biogas plants and increase the yield of biogas.

Keywords: liquid biodegradable waste, fermentation, methanogenesis, biogas, two-phase anaerobic digestion.

Введение

В агропромышленном комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве Российской Федерации ежегодно образуются миллионы тонн жидких биоразлагаемых отходов, которые не утилизируются и загрязняют окружающую среду. В экономически развитых странах такие отходы эффективно перерабатываются с получением товарной продукции.

Особенно успешны и продвинуты технологии анаэробного сбраживания биоразлагаемых сельскохозяйственных отходов и осадков канализационных очистных сооружений в Германии, Франции, Италии, Китае, США.

В Италии (г. Реус) успешно эксплуатируется биогазовая установка, позволяющая получить 1,1 млн. м³/год. метана, количество которого на 40% превышает расход энергоносителей на собственные нужды, что свидетельствует о высокой эффективности технологий. Подобные результаты достигнуты и в других странах Европейского союза.

В нашей стране наилучшие результаты по анаэробному сбраживанию осадков канализационных очистных сооружений достигнуты в МГУП Мосводоканал, где эксплуатируются 44 метантенка с общим объёмом 280 тыс. м³ для осадков первичных отстойников и активного ила. Вырабатываемого метана достаточно для покрытия только 70% собственной потребности в тепле и электроэнергии, что свидетельствует о низкой эффективности применяемой технологии анаэробного сбраживания.

В агропромышленном секторе параллельно проводятся исследования по анаэробному сбраживанию отходов животноводства и перерабатывающей промышленности [1], [2], [3]. Наибольшие успехи в этом направлении достигнуты в Белгородской области, где внедрены и успешно функционируют пять крупных биогазовых установок.

Исходя из проведенного нами литературного обзора, можно сделать вывод, что совместных научно-исследовательских работ по интенсификации процессов анаэробного сбраживания биоразлагаемых отходов в метантенках (ЖКХ) и биогазовых установках (АПК) недостаточно. Нам не известно о существовании в России единого научного центра, координирующего работы по анаэробному сбраживанию отходов АПК и ЖКХ.

Цель исследования

Целью работы является проведение теоретических исследований по анаэробному сбраживанию жидких биоразлагаемых отходов и обоснование предложений по повышению эффективности и экологичности процесса.

Материалы и принципы исследования

В процессе работы использовали три принципа: детерминизма, соответствия и дополнительности. Практическое применение этих принципов позволило установить недостаточно решённые задачи по теме исследования и предложить собственные технические решения по повышению эффективности анаэробного сбраживания биоразлагаемых отходов с получением биогаза. Теоретической базой исследования послужили опубликованные результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ ведущих мировых научных центров, посвящённых теме работы.

Основная часть

В Германии успешно функционирует крупный центр по исследованию биомассы с публикацией научных достижений в области анаэробного сбраживания биоразлагаемых отходов во всех высокорейтинговых научных журналах. Структура центра биомассы в *Deutsche Biomasseforschungszentrum* в г. Лейпциг представлена на рисунке 1.

Анализ структуры Центра позволяет сделать вывод, что НИР и НИОКР проводятся по широкому спектру исследований. Обращает на себя внимание, то, что каждый отдел оказывает научные услуги производствам по разработке документации и внедрению наилучших доступных технологий.

По нашему мнению, наибольшему эффекту по повышению выхода биогаза способствует научное взаимодействие отделов биохимической конверсии и биоэнергетических систем. В сфере наших научных интересов находятся работы по определению потенциалов различных видов биогенного сырья для биоэнергетического производства, ускорения процессов анаэробной конверсии субстратов, развитию методов оптимизаций использования различных субстратов и их смесей, исследование использования различных ферментов [4], [5], [6].

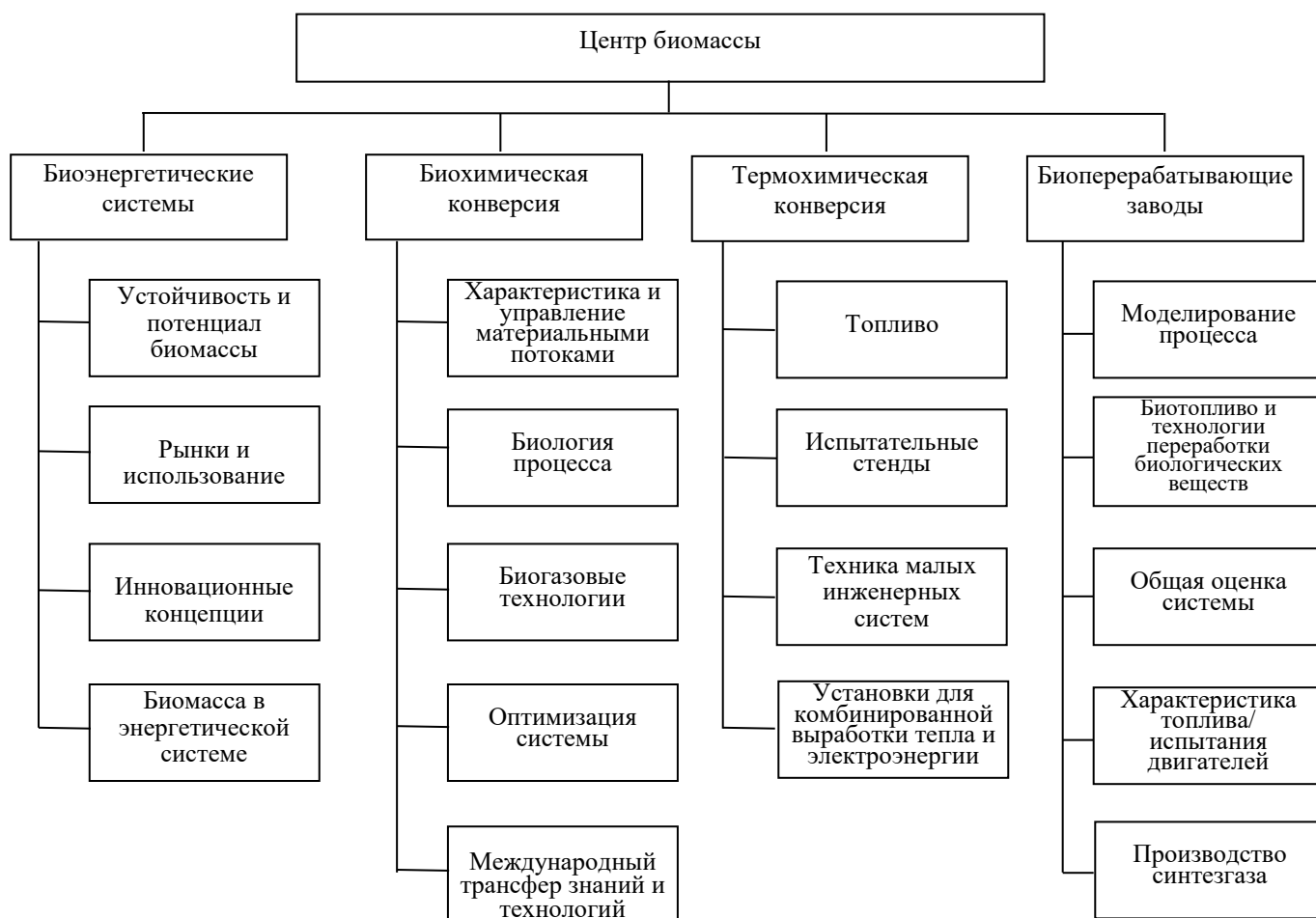


Рис. 1 – Структура Центра комплексных исследований биоразлагаемой биомассы

Необходимо отметить плодотворную совместную работу немецкого Центра исследований биомасс (DBFZ) и Казанского федерального университета, выполненную Зиганшиным А.М. в отделе биохимической конверсии, по структурной организации и закономерностям функционирования анаэробных микробных сообществ, участвующих в конверсии биоразлагаемых органических отходов. В этом отделе проводилась оценка влияния исходного субстрата и различных температурных режимов на динамику развития бактериальных и архейных сообществ, продуцирующих получение биогаза [7]. Выявлен эффект снижения времени удерживания субстрата и иммобилизации микроорганизмов на активность микробных сообществ. Установлены бактерии для стадий гидролиза и ацидогенеза, которые оптимально функционируют при pH = 5,3. В то же время отмечается наиболее эффективная работа метаногенов при pH 6,8 – 7,4.

Впервые установлены эффекты снижения времени удерживания субстрата и иммобилизации микроорганизмов на различных носителях на активность микроорганизмов и стабильность работы биореакторов.

Экспериментальные исследования с применением современных методов анализа позволили установить доминирующие метаногенные архейные ассоциации. Важно отметить, что показана целесообразность внесения ионов железа для удаления образующегося токсичного для метаногенов сероводорода в виде сульфида железа. Зиганшиным А.М. предложены практические рекомендации для ускорения процесса анаэробного сбраживания

послеспиртовой барды, навоза КРС совместно с кукурузным силосом и жмыха семян *Jatropha* с высоким удельным выходом биогаза.

Следует отметить и научные исследования для повышения эффективности анаэробного сбраживания биоразлагаемых отходов, проводящиеся в РФ. Направления исследований следующие: рециклинг биомассы; предварительный термогидролиз субстрата; повышенное давление в реакторе; применение носителей биомассы; рекуперация теплоты [8], [11], [14]. Эти направления способствуют созданию устойчивых систем в биоэнергетике и научно обосновывают необходимость утилизации отходов сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности с получением биогаза.

Анализ информационных источников по биохимической конверсии биоразлагаемых субстратов позволил авторам данной статьи предложить схему двухфазной непрерывной переработки отходов (рис. 2). На первой стадии для ускорения работы бактерий, разлагающих белки, протеины и углеводы на простые органические вещества с образованием в дальнейшем органических кислот проектируем биореактор, в котором создают вакуум -минус 50 кПа. Для ускорения процесса создаём и поддерживаем температуру 50 °С. В первом реакторе осуществляется механическое перемешивание, процесс идёт при оптимальном для стадии гидролиза pH=5,3.

В зависимости от условий эксплуатации возможны два варианта ускорения биохимических процессов в биореакторе первой ступени. В случае, когда отсутствует возможность создать косубстрат за счёт использования пищевых и растительных отходов, применяют схему с ферментатором. Когда есть возможность использовать косубстраты для ускорения сбраживания на первом этапе, целесообразно внесение микробиологических препаратов (МКБ).

В реакторе второй ступени, где в основном происходит метаногенез, предлагается проводить процесс в мезофильном режиме при 30°С. Для повышения энергоэффективности работы биогазовой установки запроектирован теплообменник, в котором исходный, подаваемый в первый биореактор субстрат, подогревается за счёт тепла субстрата, перекачиваемого насосом из биореактора первой ступени. Такая технология позволяет не только охладить подаваемый субстрат с 50°С до 30°С для второго биореактора, но и подогреть исходный перед подачей в биореактор №1 от 10°С до 25°С.

Работа насосов 4 и 5 должна осуществляться с помощью АСУ ТП.

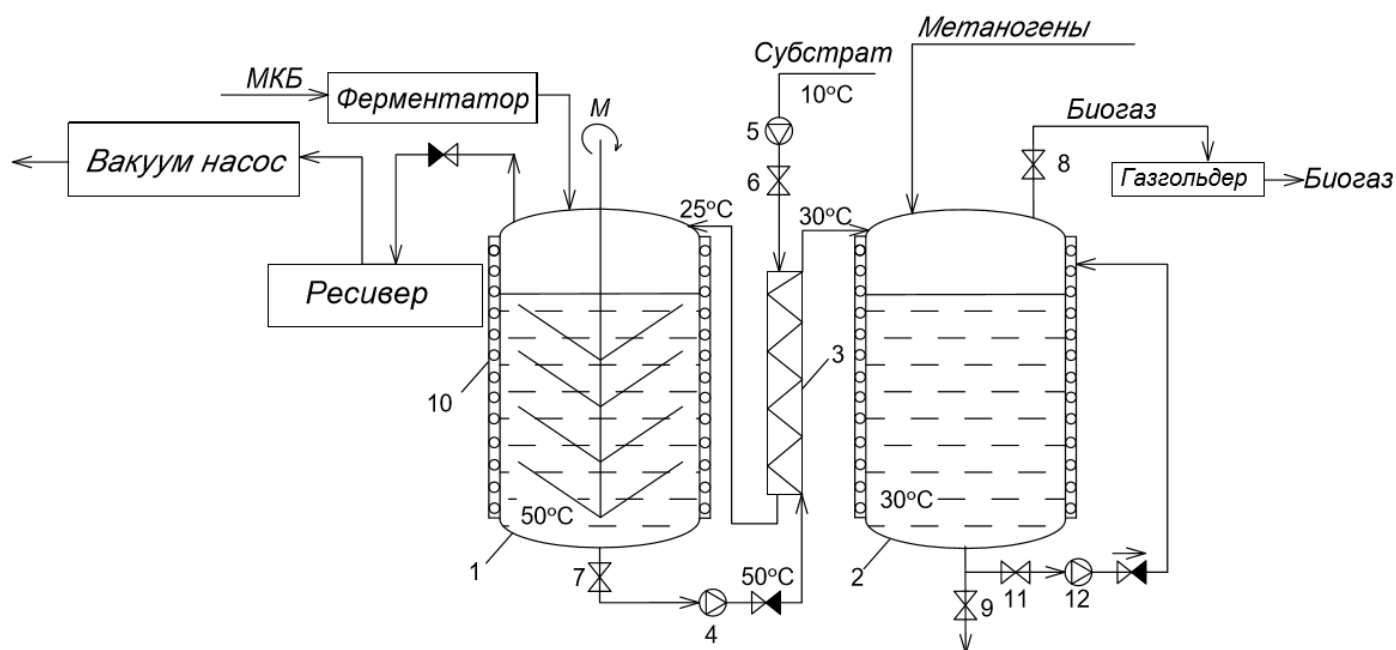


Рис. 2 – Схема двухфазной биогазовой установки с вакуумированием и ферментацией субстрата:

1 – биореактор 1-й ступени; 2 – биореактор 2-й ступени; 3 – теплообменник; 4 – насос перекачки субстрата из реактора 1 в реактор 2; 5 – насос подачи субстрата; 6, 7, 8, 9, 11 – вентили; 10 – трубы подогрева субстрата; 12 – циркуляционный насос для перемешивания

В биореакторе второй фазы гидравлическое перемешивание осуществляется циркуляционным насосом 12 и процесс метаногенеза осуществляется при pH=6,8. Строгое соблюдение pH позволяет уменьшить образование аммиака, который ингибирует метаногенез, т.к. известно, что при возрастании pH до 8 концентрация аммиака возрастает в тридцать раз.

Необходимо отметить, что при формировании косубстратов придерживаемся соотношения C/N равным 30:10. Для удаления сероводорода, образующего во втором биореакторе, предлагается введение ионов Fe^{3+} , что приводит к образованию нерастворимого сульфида железа и повышению выхода биогаза. т.к. сероводород является клеточным ядом для метаногенов.

Во многих научных статьях, отмечается, что целесообразно использовать схемы с несколькими реакторами в которых осуществляется процесс метаногенеза, что позволяет обеспечить постоянный дебит и качество биогаза [15].

В данной статье предлагаем схему с одним биореактором гидролиза и одним пятисекционным биореактором метаногенеза (рис.3).

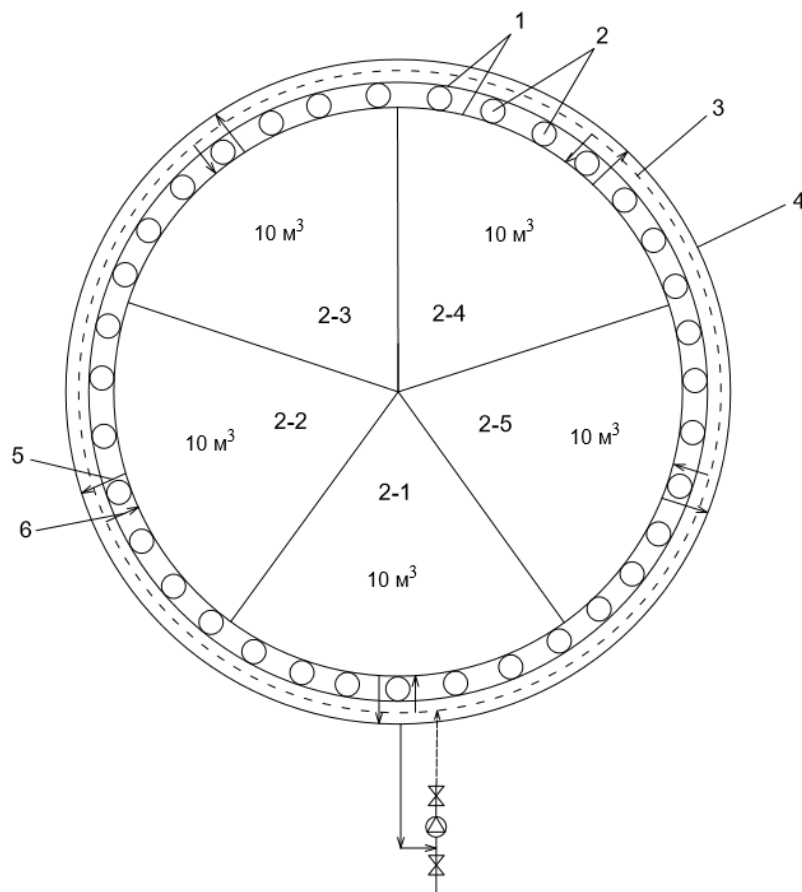


Рис. 3 – Схема расположения биореакторов с системой гидравлического перемешивания при двухфазном анаэробном сбраживании:

1 – стенки биореактора; 2 – трубы с теплоносителем; 3 – кольцевой, подающий субстрат; трубопровод; 4 – кольцевой отводящий субстрат трубопровод; 5 – отвод субстрата при гидравлическом перемешивании; 6 – подача субстрата при гидравлическом перемешивании

Один биореактор (№1), ёмкостью 10 м^3 , в котором происходит гидролиз, обслуживает пять секций, по 10 м^3 каждая, в биореакторе №2.

В реакторе 1 процесс длится трое суток, а в секциях второго реактора - 15 суток. На стадии запуска заполняется субстратом реактор 1, в котором создаём температуру 50°C , вакуум (-50 кПа), время гидролиза - трое суток.

Гидролизированный субстрат с температурой 50°C , через теплообменник насосом подаётся в секцию 2-1, при этом его температура снижается до 30°C и после этого в 2.1 начинается процесс метанизации.

Одновременно вновь заполняется исходным субстратом (10°C), через теплообменник, реактор 1, температура субстрата при этом повышается до 25°C . Через трое суток гидролизированный субстрат из реактора 1 подаётся в секцию 2.2. Таким образом последовательно заполняются все секции биореактора 2. Получим, что после заполнения секции 2.5 и последующего трёхсуточного гидролиза в реакторе 1 закончится пятнадцатисуточное сбраживание в секции 2.1.

В результате осуществляется непрерывное получение биогаза в секциях второго биореактора, с предварительным гидролизом субстрата в реакторе 1 в течение двух суток и общим временем сбраживания начального субстрата 12 суток. Следующим этапом исследований является проектирование АСУ работы насосов теплообменника и насосов перекачки субстратов по секциям биореактора №2.

Заключение

Повышение эффективности анаэробного сбраживания жидких биоразлагаемых отходов возможно только на основе глубоких исследований и координации научных работ в едином центре.

Использование предложенной двухфазной системы обладает следующими преимуществами: допускаются скачки нагрузок по органическому сухому веществу; на стадии гидролиза происходит обеззараживание субстрата, при правильном подборе ферментов возможно значительное ускорение процессов.

Проектирование теплообменника между биореакторами 1 и 2, в которых температуры различаются на 20°C , позволяет значительно повысить энергоэффективность процесса получения биогаза, является элементом наилучших доступных технологий.

При использовании эффективных ферментов время протекания процесса в первой фазе может быть сокращено до 2-х суток, а во второй фазе до 10 суток, что позволит сбраживать отходы за 12 суток, значительно сократить капитальные затраты на строительство биогазовых установок и повысить выход биогаза.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Ковалев Д.А. Повышение энергетической эффективности процесса предварительного нагрева жидких органических отходов перед анаэробной обработкой бесподстилочного навоза КРС / Д.А. Ковалев, А.А. Ковалев, Ю.А. Собченко // Вестник Всероссийского НИИ механизации животноводства. -2018.-№4.-С.92-94.
2. Федотов А.В. Перспективный носитель биомассы для систем анаэробной переработки органических отходов АПК / А.В. Федотов, В.С. Григорьев, Д.А. Ковалев и др. // Электротехнологии и электрооборудование АПК.-2020. Т.67. №1 (38). С.148-155.
3. Ковалев Д.А. Интенсификация процесса анаэробной обработки органических отходов животноводства в биогазовых установках блочно-модульного типа / Д.А. Ковалев // Инновации в сельском хозяйстве. 2016 (5). С.369-374.
4. Майер С. Подходы к оптимизации баланса парниковых газов биодизеля, производимого из семян рапса / С. Майер, К. Умехен // Конференция "Топливо будущего", Берлин, 2011 г.
5. Майер С.: Производство электроэнергии из жидкого биотоплива / С. Майер // Симпозиум по биоэнергетике в Буэнос-Айресе, Буэнос-Айрес, Аргентина, 2011 г. /
6. Протер Я. Биологическое удаление азота из жидких остатков ферментации / Я. Протер., Р. Плат, М. Хилле // Международная научная конференция по случаю 120-летия инженерной подготовки: «Возобновляемые источники энергии как технологии будущего», Кетен, 2011 г.
7. Зиганшин А. М. Анаэробные микробные сообщества, участвующие в конверсии органических отходов / А. М. Зиганшин : автореферат д.б.н.- Казань, 2015.- 52с.
8. Ковалев Д.А. Экспериментальное исследование процесса предварительного гидролиза органического субстрата / Д.А. Ковалев, А.А. Ковалев, Ю.В. Караева и др. // Вестник Технологического университета. 2016.-Т.19. №8. С.130-133 (Казанский научный центр РАН).
9. Ножевникова А.Н. Состав микробного сообщества на разных стадиях компостирования, перспектива получения компоста из муниципальных органических отходов / А.Н. Ножевникова и др. // Прикладная биохимия и микробиология. 2019, т.55. №3, С.211-221.
10. Зиганшина Е.Е. Влияние гранулированного активированного угля на анаэробное совместное сбраживание жомов сахарной свёклы и зерна дистилляторов с растворимыми веществами / Е.Е. Зиганшина, Д.Е. Белостоцкий и др. // Процессы-2020. Т.8. –С.1-16.
11. Григорьев В.С. Производство биоводорода в двухстадийном процессе анаэробной биоконверсии органического вещества жидких органических отходов с рециркуляцией эффлюента метантенка / В.С. Григорьев, А.А. Ковалев // Междунар. науч. журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2020. №7-18 (330-341). С.87-100.
12. Ковалев Д.А. Предварительное исследование анаэробной биоконверсии органических отходов в реакторе при повышенном давлении / Д.А. Ковалев, Ю.В. Караева // Труды Академэнерго. 2018. №2. С.98-103.
13. Козлов М.Н. Основные результаты промышленных испытаний технологии сбраживания осадка с рециклом биомассы / М.Н. Козлов // ВСТ. - 2015. - №5. - С.60-65.
14. Куликова М.А. Переработка жидких отходов свиного комплекса на основе принципов наилучших доступных технологий / М.А. Куликова, К.О. Оковитая, О.А. Суржко // Международный научно-исслед. журнал №4 (106). 2021. Апрель, ISSN 2305-9870 PRINT.
15. Вайланд П. Программа научных измерений для оценки биогазовых установок в сельскохозяйственном секторе; (FNR-FKZ: 00N179); 3-й промежуточный отчет / П. Вайланд, Ч. Ригер: Институт технологий и системной инженерии / Федеральный исследовательский центр сельского хозяйства (FAL); Брауншвейг; 2001 г.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kovalev D. A. Povyshenie jenergeticheskoj jeffektivnosti processa predvaritel'nogo nagreva zhidkih organicheskikh othodov pered anajerobnoj obrabotkoj bespodstilochnogo navoza KRS [Improving the energy efficiency of the preheating process of liquid organic waste before anaerobic treatment of bespodstilochny cattle manure] / D. A. Kovalev, A. A. Kovalev, Yu. A. Sobchenko // Vestnik Vserossijskogo NII mehanizacii zhivotnovodstva [Bulletin of the All-Russian Research Institute of Animal Husbandry Mechanization]. -2018. - No. 4. - p. 92-94. [in Russian]
2. Fedotov A.V. Perspektivnyj nositel' biomassy dlja sistem anajerobnoj pererabotki organicheskikh othodov APK [A promising carrier of biomass for systems of anaerobic processing of organic waste of the agro-industrial complex] / A.V. Fedotov, V. S. Grigoriev, D. A. Kovalev et al. // Jeletrotehnologii i jelektrooborudovanie APK [Electrotechnologies and electrical equipment of the agro-industrial complex]. -2020. Vol. 67. No. 1 (38). pp. 148-155. [in Russian]
3. Kovalev D. A. Intensifikacija processa anajerobnoj obrabotki organicheskikh othodov zhivotnovodstva v biogazovykh ustanovkakh blochno-modul'nogo tipa [Intensification of the process of anaerobic treatment of organic animal waste in block-modular biogas plants] / D. A. Kovalev // Innovacii v sel'skom hoz'jajstve [Innovations in agriculture]. 2016 (5). pp. 369-374.
4. Mayer S. Podhody k optimizacii balansa parnikovyh gazov biodizel'ja, proizvodimogo iz semjan rapsa [Approaches to optimizing the balance of greenhouse gases of biodiesel produced from rapeseed] / S. Mayer, K. Umehen // Konferencija "Toplivo budushhego" [Conference "Fuel of the Future"], Berlin, 2011 [in Russian]
5. Mayer S.: Proizvodstvo jelektroenergii iz zhidkogo biotopliva [Production of electricity from liquid biofuels] / S. Mayer // Simpozium po biojenergetike v Bujenos-Ajrese [Symposium on Bioenergy in Buenos Aires], Buenos Aires, Argentina, 2011. [in Russian]
6. Proter Ja. Biologicheskoe udalenie azota iz zhidkih ostatkov fermentacii [Biological removal of nitrogen from liquid fermentation residues] / Ya. Proter., R. Plath, M. Hille // Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija po sluchaju 120-letija inzhenernoj podgotovki: «Vozobnovljaemye istochniki jenerгии kak tehnologii budushhego» [International Scientific Conference on the occasion of the 120th anniversary of engineering training: "Renewable energy sources as technologies of the future"], Keten, 2011 [in Russian]

7. Ziganshin A.M. Anajerobnye mikrobnnye soobshhestva, uchastvujushhie v konversii organicheskikh othodov [Anaerobic microbial communities involved in the conversion of organic waste] / A.M. Ziganshin: abstract of Doctor of Biological Sciences-Kazan, 2015. - 52c. [in Russian]
8. Kovalev D. A. Jeksperimental'noe issledovanie processa predvaritel'nogo gidroliza organicheskogo substrata [Experimental study of the process of preliminary hydrolysis of an organic substrate] / D. A. Kovalev, A. A. Kovalev, Yu. V. Karaeva et al. // Vestnik Tehnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Technological University]. 2016. - Vol. 19. No. 8. pp. 130-133. [in Russian]
9. Nozhevnikova A. N. Sostav mikrobnogo soobshhestva na raznyh stadijah kompostirovaniya, perspektiva poluchenija komposta iz municipal'nyh organicheskikh othodov [The composition of the microbial community at different stages of composting, the prospect of obtaining compost from municipal organic waste] / A. N. Nozhevnikova et al. // Prikladnaja biokhimiya i mikrobiologiya [Applied biochemistry and microbiology]. 2019, vol. 55. No. 3, pp. 211-221. [in Russian]
10. Ziganshina E. E. Vliyanie granulirovannogo aktivirovannogo uglja na anajerobnoe sovmestnoe sbrazhivanie zhomam saharnoj svjokly i zerna distilljatorov s rastvorimymi veshhestvami [the Effect of granular activated carbon for anaerobic digestion of the joint Amam sugar beet and grain distillers with Solubles] / E. E. Ziganshina, D. E. Bialystok, et al. // Processy [Processes] - 2020. Vol. 8. -P. 1-16. [in Russian]
11. Grigor'ev V. S. Proizvodstvo biovodoroda v dvuhstadijnom processe anajerobnoj biokonversii organicheskogo veshhestva zhidkih organicheskikh othodov s recirkuljaciej jeffljuenta metantenka [the Production of biostorage in the two-stage process of anaerobic bioconversion of organic matter liquid organic waste recycling the effluent of the digester] / V. Grigoriev, A. A. Kovalev // Mezhdunar. nauch. zhurnal «Al'ternativnaja jenergetika i jekologiya» [Intern. nauch. the journal "Alternative energy and ecology"]. 2020. No. 7-18 (330-341). pp. 87-100. [in Russian]
12. Kovalev D. A. Predvaritel'noe issledovanie anajerobnoj biokonversii organicheskikh othodov v reaktore pri povyshennom davlenii [Preliminary study of anaerobic bioconversion of organic waste in a reactor at elevated pressure] / D. A. Kovalev, Yu. V. Karaeva // Truda Akademjenergo [Labor of Akademenergo]. 2018. No. 2. P. 98-103. [in Russian]
13. Kozlov M. N. Osnovnye rezul'taty promyshlennyh ispytanij tehnologii sbrazhivaniya osadka s reciklom biomassy [The main results of industrial tests of the technology fermentation of sludge with biomass recycle] / M. N. Goats // VST. - 2015. - No. 5. - P. 60-65. [in Russian]
14. Kulikova M. A. Pererabotka zhidkih othodov svinokompleksov na osnove principov nailuchshih dostupnyh tehnologij [treatment of liquid wastes of pig farms based on the principles of best available technologies] / M. A. Kulikova, K. O. Okowita, Surzhko O. A. // Mezhdunarodnyj nauchno-issled. zhurnal [International Scientific and Research Center. Journal] No. 4 (106). 2021. April, ISSN 2305-9870 PRINT. [in Russian]
15. Weiland P. Programma nauchnyh izmerenij dlja ocenki biogazovyh ustanovok v sel'skohozjajstvennom sektore; (FNR-FKZ: 00N179); 3-j promezhutochnyj otchet [Program of scientific measurements for the evaluation of biogas plants in the agricultural sector; (FNR-FKZ: 00N179); 3rd interim report] / P. Weiland, Ch. Rieger: Institute of Technology and System Engineering / Federal Research Center for Agriculture (FAL); Braunschweig; 2001 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.031>

РАЗНООБРАЗИЕ ДЕНДРО- И ГЕРПЕТОБИОНТОВ В НЕКОТОРЫХ БИОТОПАХ ЛЕСОПАРКА «СОСНОВАЯ РОЩА» ЙОШКАР-ОЛЫ

Научная статья

Турмухаметова Н.В.^{1,*}, Воробьева И.Г.²¹ ORCID: 0000-0001-6078-6998;² ORCID: 0000-0002-6868-6606;^{1,2} Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия

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

Аннотация

Работа посвящена изучению разнообразия беспозвоночных животных групп дендро- и герпетобионтов в условиях особо охраняемой природной территории «Сосновая роща» в городе Йошкар-Ола. Разнообразие беспозвоночных животных в изученных биотопах составило 255 видов: 3 – *Chilopoda*, 32 – *Arachnida*, 220 – *Insecta* с доминированием *Coleoptera*. Разнообразие консортивных связей дендробионтов с детерминантом может свидетельствовать о степени устойчивости ценопопуляции к неблагоприятным условиям. Численность герпетобионтов зависит от места положения охраняемой территории в окрестностях города, климатических факторов, почвенного состава и состава фитоценоза. Неоднородность условий различных биотопов в лесопарке способствует увеличению разнообразия групп беспозвоночных животных в вертикальном разрезе сообщества, что может сохранять устойчивость экосистемы в условиях воздействия антропогенных факторов.

Ключевые слова: разнообразие, дендробионты, герпетобионты.

ON THE DIVERSITY OF DENDRO-AND HERPETOBIONTS IN CERTAIN BIOTOPES OF THE "SOSNOVAYA ROSHCHA" MUNICIPAL FOREST OF YOSHKAR-OLA

Research article

Turmukhametova N.V.^{1,*}, Vorobyeva I.G.²¹ ORCID: 0000-0001-6078-6998;² ORCID: 0000-0002-6868-6606;^{1,2} Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia

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

Abstract

The research discusses the diversity of invertebrate animals of the dendro - and herpetobiont groups (organisms active on the arborescent stratum, and arthropods active mainly on the soil surface between plants, less often at the base of the stems) in the protected area "Sosnovaya roshcha" in Yoshkar-Ola. The diversity of invertebrates in the biotopes under study amounted to 255 species: 3 – *Chilopoda*, 32 – *Arachnida*, 220 – *Insecta* with *Coleoptera* dominance. The variety of consort relationships of dendrobionts with the determinant may indicate the degree of resistance of the coenopopulation to unfavorable conditions. The number of herpetobionts depends on the location of the protected area in the vicinity of the city, climatic factors, soil composition and the composition of the plant community. The heterogeneity of the conditions of various biotopes in the municipal forest contributes to an increase in the diversity of invertebrate animal groups in the vertical section of the community, which can preserve the stability of the ecosystem under the influence of anthropogenic factors.

Keywords: diversity, dendrobionts, herpetobionts.

Введение

Сохранение биологического разнообразия видов животных и растений, ландшафтов и экосистем является одной из наиболее актуальных проблем современности. Известно, что неоднородность условий местообитания способствует увеличению разнообразия различных компонентов сообщества. Понимание механизмов функционирования экосистем позволит целостно организовать природоохранные мероприятия [1]. Изучение биоразнообразия экосистем предполагает выявление консорций, включающих особи вида растения-детерминанта и связанные с ним биоценоотическими отношениями организмы-консорты, приуроченные к условиям конкретной среды [2]. Почвенные беспозвоночные животные чувствительны к изменениям параметров окружающей среды, их используют при оценке токсического загрязнения экосистем [3].

Цель работы – изучение разнообразия беспозвоночных животных групп дендро- и герпетобионтов в условиях особо охраняемой природной территории (ООПТ) «Сосновая роща».

Методы и принципы исследования

ООПТ «Сосновая роща» расположена в лесопарковой зоне восточной части города Йошкар-Олы Республики Марий Эл и относится к зоне наименьшего загрязнения [4]. Исследование проводили в 2014-2020 годы. Членистоногих дендробионтов изучали в кронах подроста и генеративных особей сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) [5], [6], которые являются детерминантами консорций. Материал собирали в биотопах смешанного леса. Для сбора насекомых использовали стандартные энтомологические методы [7], в том числе диагностику проводили и по повреждению структур деревьев [8]. Для исследования разнообразия герпетобионтов были выбраны пробные площади в сосняке разнотравном и пойменной дубраве. Сбор почвенных беспозвоночных проводили с использованием стандартных ловушек Барбера [7].

Основные результаты и их обсуждение

В изученных насаждениях *P. sylvestris* обнаружены 48 видов насекомых, которые относятся к 6 отрядам и 24 семействам, в насаждениях *Q. robur* – 49 видов из 7 отрядов и 30 семейств. Доминирующим по видовому разнообразию является Coleoptera (табл. 1).

Таблица 1 – Соотношение систематических групп членистоногих изученных дендро- и герпетобионтов некоторых биотопов ООПТ «Сосновая роща»

Отряд (Класс)	Общее количество видов	Количество видов					
		Дендробионты <i>P. sylvestris</i>		Дендробионты <i>Q. robur</i>		Герпетобионты	
		1	2	3	4	5	6
<i>Lithobiomorpha (Chilopoda)</i>	3	0	0	0	0	2	1
<i>Opiliones (Arachnida)</i>	2	0	0	0	0	1	1
<i>Aranei</i>	30	0	0	0	0	18	12
<i>Homoptera (Insecta)</i>	11	1	2	3	4	1	0
<i>Hemiptera</i>	19	1	2	6	7	2	1
<i>Coleoptera</i>	144	22	21	12	20	36	33
<i>Neuroptera</i>	3	0	0	1	2	0	0
<i>Lepidoptera</i>	17	0	5	5	7	0	0
<i>Hymenoptera</i>	21	1	4	3	6	4	3
<i>Diptera</i>	5	0	1	2	2	0	0
<i>Всего</i>	255	25	35	32	48	64	51

Примечание: 1 – в кронах виргинильных особей *P. Sylvestris*; 2 – в кронах молодых генеративных особей *P. Sylvestris*; 3 – в кронах иммагурных особей *Q. Robur*; 4 – в кронах средневозрастных генеративных особей *Q. Robur*; 5 – сосняк разнотравный; 6 – пойменная дубрава

Среди растительноядных насекомых первого концентра *P. sylvestris* чаще встречались жуки семейств *Scolytidae*, *Scarabaeidae*, *Cerambycidae*, *Chrysomelidae*, *Elateridae*, *Buprestidae* и др. с доминированием *Curculionidae*. Второй концентр образуют хищные насекомые *Nabidae*, *Carabidae*, *Coccinellidae*, *Silphidae*, *Ichneumonidae*. Жуки-фитофаги *Q. robur* представлены такими семействами, как *Curculionidae*, *Apionidae*, *Elateridae*, *Atellidae*, *Chrysomelidae* и др. Хищными *Coleoptera* являются *Coccinellidae*, *Carabidae*.

Соотношение трофических групп насекомых на деревьях разного биологического возраста отличается ($P < 0,05$), что было ранее показано и по другим древесным видам [9]. В первом концентре консорции подроста *P. sylvestris* доминируют филофаги, у взрослых деревьев – конофаги, экрисотрофы, короеды и ксилофаги. В консорции генеративных особей *Q. robur* преобладают антофилы и карпофаги, подроста – сосущие и грызущие листву насекомые.

Герпетобионты в сосняке были представлены 64 видами *Insecta*, *Arachnida*, *Chilopoda* с доминированием *Coleoptera* (56,25 %) и *Aranei* (28,12 %) (табл. 1). В дубраве разнообразие герпетобионтов немного меньше – 51 вид с теми же доминирующими группами, что в сосняке. Динамическая плотность герпетобионтов на изученных пробных площадях изменялась в течение сезона от 122 до 380 экземпляров на 100 ловушко-суток (экз./100 лов.-сут.) (рис. 1). Более высокие значения численности беспозвоночных наблюдались в сосняке разнотравном, особенно данная тенденция заметно прослеживается на сроках с 16 июня по 26 июня 2020 г. (срок экспозиции № 1), а также с 6 июля по 16 июля (срок экспозиции № 3). Это связано тем, что дубняк расположен в более низкой части поймы реки Малая Кокшага и в данный срок исследования был переувлажнен.

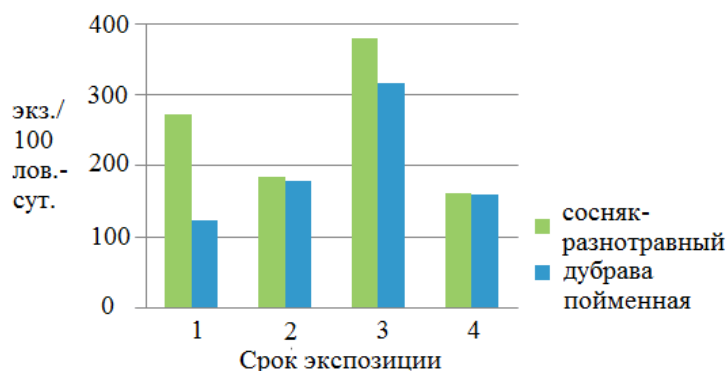


Рис. 1 – Динамическая плотность почвенных беспозвоночных в изученных сообществах

Анализ почвенного биоразнообразия показал, что герпетобионты представлены всеми типичными группами беспозвоночных животных. В сосняке разнотравном в течение всего сезона доминировали *Opiliones*, плотность которых достигала 249 экз./100 лов.-сут. Высокие значения динамической плотности (до 106 экз./100 лов.-сут.) отмечались среди пауков (*Aranei*). Среди *Carabidae* в сосняке встречались в основном представители мелких видов.

В пойменной дубраве доминировали те же группы герпетобионтов. Обилие *Opiliones* к середине июля увеличивается, в связи с этим увеличивается и количество *Carabidae*, так как *Opiliones* являются источником пищи для *Carabidae*. Ранее на примере пойменных биоценозов заповедника «Большая Кокшага» установлено, что на лесных

пойменных участках, затопляемых во время весеннего половодья значения численности и биомассы выше, чем участках террасы [10].

Заключение

Разнообразие групп беспозвоночных животных в некоторых биотопах изученной охраняемой территории составила 255 видов: 3 – *Chilopoda*, 32 – *Arachnida* с доминированием *Aranei*, 220 – *Insecta* с доминированием *Coleoptera*. Разнообразие консортивных связей с древесным растением может свидетельствовать о степени устойчивости ценопопуляции к неблагоприятным условиям. Разнообразие энтомоконсортов зависит от биологического возраста детерминанта и увеличивается у взрослых деревьев, по сравнению с подростом. Численность животных и количество доминирующих групп герпетобионтов зависит от места положения охраняемой территории в окрестностях города, климатических факторов, почвенного состава, состава фитоценоза. Неоднородность условий различных биотопов в лесопарке «Сосновая роща» способствует увеличению разнообразия групп беспозвоночных животных (герпетобионтов, дендробионтов) в вертикальном разрезе сообщества, что может сохранять устойчивость экосистемы в условиях воздействия антропогенных факторов.

Финансирование

Работы выполнены при поддержке гранта
Мариинского государственного университета № 2020-003А.

Funding

This work was supported by the Mari State
University, grant no. 2020-003A.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Dorogova Y. A. Methods of Analysis of Environmental Diversity of Plants / Y. A. Dorogova, L. A. Zhukova, N. V. Turmukhametova et al. // Biology and Medicine. – 2016. – Vol. 8, Issue 6. – 7 pages.
2. Turmukhametova N. V. Structure Peculiarities Of Pinus Sylvestris L. consortium / N. V. Turmukhametova, P. V. Bedova, I. G. Vorobeva // III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Krasnoyarsk, Russia, 2020. – P. 42035.
3. Еланцева А. А. Насекомые-герпетобионты в городских насаждениях / А. А. Еланцева // Известия Самарского научного центра РАН. – 2015. – Т.17, №4. – С.134-141.
4. Отчет на выполнение работ по инвентаризации зеленых насаждений и проектирование мероприятий в границах ООПТ «Сосновая роща». – Йошкар-Ола, 2013. – 155 с.
5. Жукова Л. А. Онтогенез сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / Л. А. Жукова, А. А. Нотов, Н. В. Турмухаметова и др. // Онтогенетический атлас растений: Науч. издание. Т. 7. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2013. – С. 26-65.
6. Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Деревья и кустарники. – М.: МГПИ, 1989. – 102 с.
7. Цуриков М. Н. Гуманные методы исследования беспозвоночных / М. Н. Цуриков // Запов. справа в Україні. – 2003. – Т. 9, вып. 2. – С. 52-57.
8. Гусев В. И. Определитель повреждений лесных, декоративных и плодовых деревьев и кустарников / В. И. Гусев. – М.: Лесная пром-ть, 1984. – 472 с.
9. Турмухаметова Н. В. Разнообразие энтомокомплексов в ценопопуляциях *Betula pendula* Roth Республики Марий Эл / Н. В. Турмухаметова, М. В. Сухорукова // Экология родного края: проблемы и пути их решения: Материалы XIII Всеросс. науч.-практ. конф. с межд. участием. Кн. 2. – Киров: ВятГУ, 2018. – С. 201-204.
10. Бахраков А. И. Почвенная мезофауна долины реки Большая Кокшага (на примере среднего течения) / А. И. Бахраков, Л. Б. Рыбалов, И. Г. Воробьева // Поволжский экологический журнал. – 2014. – № 4. – С. 452-462.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dorogova Y. A. Methods of Analysis of Environmental Diversity of Plants / Y. A. Dorogova, L. A. Zhukova, N. V. Turmukhametova et al. // Biology and Medicine. – 2016. – Vol. 8, Issue 6. – 7 pages.
2. Turmukhametova N. V. Structure Peculiarities Of Pinus Sylvestris L. consortium / N. V. Turmukhametova, P. V. Bedova, I. G. Vorobeva // III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Krasnoyarsk, Russia, 2020. – P. 42035.
3. Elantseva A. A. Nasekomye-gerpetobionty v gorodskikh nasazhdeniyakh [Insects-herpetobionts in urban plantings] / A. A. Elantseva // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. – 2015. – Vol. 17, No. 4. – pp. 134-141 [in Russian]
4. Otchet na vypolnenie rabot po inventarizacii zelenykh nasazhdenij i proektirovanie meroprijatij v granicakh OOPT «Sosnovaya roshha» [Report on the implementation of works on the inventory of green spaces and the design of measures within the boundaries of the protected area "Sosnovaya Roshcha"]. – Yoshkar-Ola, 2013. – 155 p. [in Russian]
5. Zhukova L. A. Ontogenez sosny obyknovennoj (Pinus sylvestris L.) [Ontogenesis of the common pine (*Pinus sylvestris* L.)] / L. A. Zhukova, A. A. Notov, N. V. Turmukhametova et al. // Ontogeneticheskij atlas rastenij: Nauch. izdanie. Vol. 7 [Ontogenetic atlas of plants: Scientific publication. Vol. 7]. – Yoshkar-Ola: MarGU, 2013. – pp. 26-65 [in Russian]
6. Diagnozy i kljuchi vozrastnykh sostojanij lesnykh rastenij. Derev'ja i kustarniki [Diagnoses and keys of age-related conditions of forest plants. Trees and shrubs]. – Moscow: MGPI, 1989. – 102 p. [in Russian]
7. Tsurikov M. N. Gumannye metody issledovaniya bespozvonochnykh [Humane methods of invertebrate research] / M. N. Tsurikov // Zapov. it's about Ukraine. – 2003. – Vol. 9, issue 2. – pp. 52-57 [in Russian]

8. Gusev V. I. Opredeletel' povrezhdenijj lesnykh, dekorativnykh i plodovykh derev'ev i kustarnikov [Determinant of damage to forest, ornamental and fruit trees and shrubs] / V. I. Gusev. - M.: Lesnaya prom-ty, 1984. - 472 p. [in Russian]
9. Turmukhametova N. V. Raznoobrazie ehntomokompleksov v cenopopuljacijakh *Betula pendula* Roth Respubliki Marij Ehl [Diversity of entomocomplexes in the cenopopulations of *Betula pendula* Roth of the Republic of Mari El] / N. V. Turmukhametova, M. V. Sukhorukova // Ehkologija rodnogo kraja: problemy i puti ikh reshenija: Materialy KhIII Vseross. nauch.-prakt. konf. s mezhd. uchastiem. Kn. 2. [Ecology of the native land: problems and ways to solve them: Proceedings of the XIII All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation]. Book 2. - Kirov: VyatGU, 2018. - pp. 201-204 [in Russian]
10. Bastrakov A. I. Pochvennaja mezofauna doliny reki Bol'shaja Kokshaga (na primere srednego techenija) [Soil mesofauna of the Bolshaya Kokshaga River valley (based on the middle stream)] / A. I. Bastrakov, L. B. Rybalov, I. G. Vorobyova // Povolzhskijj ehkologicheskijj zhurnal [Povolzhskiy Journal of Ecology]. - 2014. - No. 4. - pp. 452-462 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.032>**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НАРКОЗА НА МОРФОЛОГИЮ ЭРИТРОЦИТОВ У СОБАК**

Научная статья

Куприна Э.А.^{1,*}, Крюковская Г.М.², Морозов И.А.³¹ ORCID: 0000-0002-5281-8897;² ORCID: 0000-0003-3478-043X;³ ORCID: 0000-0002-4997-5058;^{1, 2, 3} Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (eliza.kupr1999[at]gmail.com)

Аннотация

Эритроциты - форменные элементы крови, главная функция которых заключается в переносе кислорода к тканям и органам и углекислого газа в обратном направлении. Поскольку это обеспечивается наличием гемоглобина и особой формой клеток, то контроль их морфологии очень важен для обеспечения нормального для организма газообмена. Целью нашей работы было исследование изменения формы и размера эритроцитов у собак при наркозе. Выбрав некоторых собак с приема в ветеринарной клинике, которых привели на плановую кастрацию/стерилизацию, мы взяли у них кровь для исследований во время приема перед операцией и уже в состоянии наркоза. В результате были обнаружены изменения морфологии эритроцитов, что демонстрирует влияние наркоза на красные кровяные тельца.

Ключевые слова: анестезия, эритроциты, морфология, гематология.

STUDYING THE EFFECT OF ANESTHESIA ON THE MORPHOLOGY OF RED BLOOD CELLS IN DOGS

Research article

Kuprina E.A.^{1,*}, Kryukovskaya G.M.², Morozov I.A.³¹ ORCID: 0000-0002-5281-8897;² ORCID: 0000-0003-3478-043X;³ ORCID: 0000-0002-4997-5058;^{1, 2, 3} Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia

* Corresponding author (eliza.kupr1999[at]gmail.com)

Abstract

Red blood cells are blood corpuscles, the main function of which is to transfer oxygen to tissues and organs and carbon dioxide in the opposite direction. Since this process is provided by the presence of hemoglobin and a special form of cells, the control of their morphology is very important to ensure normal gas exchange for the body. The aim of the research was to study changes in the shape and size of red blood cells in dogs under anesthesia. Having selected dogs who were brought for planned castration/sterilization at a veterinary clinic, the authors took their blood for research before operation and in a state of anesthesia. The results demonstrate changes in the morphology of red blood cells, which point to the effect of anesthesia on red blood cells.

Keywords: anesthesia, red blood cells, morphology, hematology.

Введение

Погружение животного в наркоз и дальнейшая операция являются шокогенным фактором, вызванным травмой тканей и изменениями в коллоидной структуре на клеточном уровне [1], [4], [6]. Данная процедура сопровождается активацией и выделением в кровь медиаторов воспаления и цитокинов, что может вызвать развитие гемопатий. Происходят реологические сдвиги и изменение пластических форм эритроцитов в кровотоке, приводящие к нарушению периферического кровообращения и системы микроциркуляции [7], [8], [9], [10].

Цель исследования

Оценить важность исследования морфологии клеток крови животных при погружении в наркоз для проведения хирургических манипуляций.

Материалы и методы

Для более подробного изучения этого вопроса нами были проведены исследования нативной крови животных, погруженных в наркоз. После проведения первичного хирургического приема в ветеринарной клинике нами были отобраны 10 собак различных пород, возрастов и полов, приведенных на плановые операции.

Отобранные нами животные были разделены на две группы: клинически здоровые животные, пришедшие на плановую операцию (сука, Джек-рассел-терьер, 3 года; 2 кобеля, Спаниель, 2 года; сука, Чихуахуа, 4 года; сука, Бигль 2,5 года) по стерилизации/кастрации, и животные, страдающие хроническим заболеванием, пришедшие на плановую операцию по показаниям для санации ротовой полости (Йоркширский терьер 7 лет кобель; Чихуахуа 3 лет сука; спаниель, сука, 5 лет; Континентальный той-спаниель, кобель 4 года; Шарпей, кобель, 5 лет). Следует отметить, что у данных животных были зарегистрированы хроническая гастропанкреатия, установленная ранее.

В качестве профилактики интра и постоперационной тошноты и рвоты у животных выдерживалась «голодная диета» длительностью 6 часов. Данное временное ограничение было определено с учетом современных рекомендаций в области ветеринарной анестезиологии для профилактики не только рвоты, но и рефлюкса концентрированного желудочного сока в пищевод, способного провоцировать в дальнейшем развитие эзофагита.

Антибиотикотерапия для профилактики инфекции в следствии совершения разреза при кастрации кобелей и стерилизации сук проводилось разово в постоперационный период, для исключения влияния препаратов группы антибиотиков на архитектуру эритроцитов.

Индукция обеспечивалась препаратом «Пропофол» в дозировке 6-8 мг/кг, поддержание наркоза обеспечивалось использованием препарата для ингаляционной анестезии «изофлуран» 2.0-3.5 об% [2], [3], [5]. В премедикации животным первой группы для обеспечения анальгетического эффекта применялся препарат «Золетил» в дозировке 1мг/кг веса. Длительность проведения анестезии варьировалась от 20 минут (в случае проведения кастрации кобелей) до 1 часа (в случае ультразвуковой санации ротовой полости).

Животные, поступающие в клинику для проведения плановой кастрации, проходили так же и прием у ветеринарного врача-анестезиолога. На приеме проводился сбор анамнестических данных с последующим физикальным осмотром. При удовлетворительных результатах проведенного обследования, у животных проводился забор проб крови в пробирки ЭДТА К3 и пробирки с активатором свертывания крови и разделительным гелем для проведения общего клинического и биохимического анализов крови соответственно. Далее животным проводилось эхокардиографическое исследование, а животным второй группы дополнительно и ультразвуковое исследование органов брюшной полости. Ультразвуковое исследование проводилось на аппарате «Mindray M9T» с микроконвексным и фазированным кардиологическим датчиком с возможностью проведения доплерографии.

Исследования крови животных проводились на базе лаборатории ветеринарной клиники с использованием гематологического аппарата Mindray BC-2800Vet, биохимического аппарата FUJI DRI-CHEM 4000i и бинокулярного микроскопа Микромед 2.

В интраоперационный период проводился мониторинг состояния животных с использованием пульсоксиметра, аппарата электрокардиографии, капнографа, термометра и ветеринарного тонометра. В совокупности с инструментальными методами использовался также визуальный контроль состояния животного, а так же пальпация и аускультация.

Кровь у животных брали до введения наркоза и сразу после погружения животного в медикаментозный сон, но до проведения хирургических манипуляций. Исследование архитектуры эритроцитов проводилось путем подсчета морфологических форм под микроскопом в 100 полях зрения с последующим расчетом процентного соотношения.

Результаты

Результаты наших исследований представлены на следующих рисунках № 1 - 7:

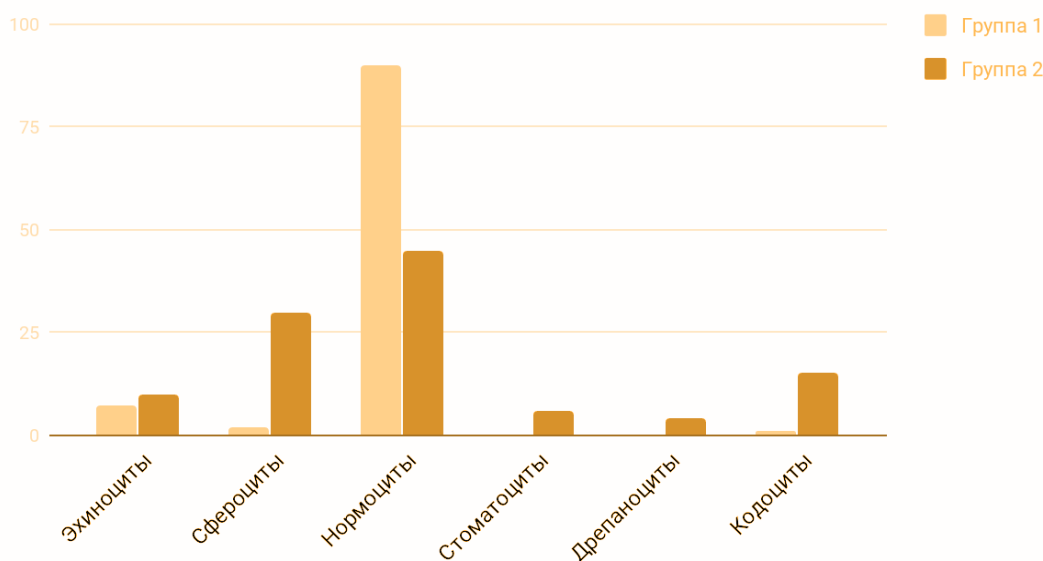


Рис. 1 – Морфологические изменения эритроцитов у собак в состоянии наркоза

У первой группы животных наблюдалась следующая картина (Рис. 2):

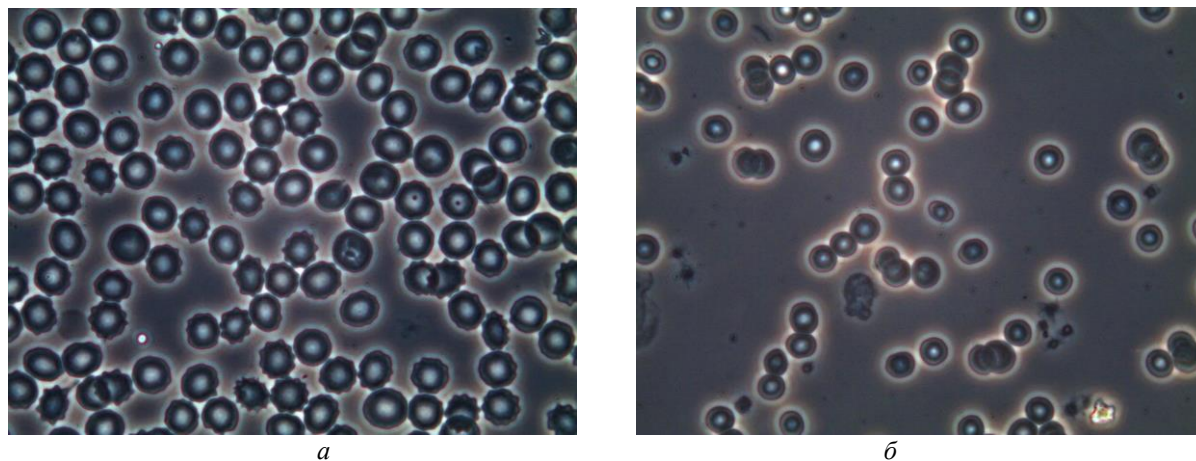


Рис. 2 – Нативный мазок крови собак 1-ой группы, на котором представлен эхиноциты 1-го порядка (а) и умеренный анизоцитоз (б)

Примечание: масштаб x1000

По результатам наших исследований мы отмечаем, что морфология эритроцитов соответствовала нормальной физиологической картине. Так эритроциты были представлены в 90% случаев нормоцитами, 5-7% эхиноцитами 1-го порядка, т.е. обратимой формой, и единичные формы эритроцитов на стадии старения (рис. 2, а). Наряду с этим у четырех годовалой суки Чихуахуа наблюдали умеренный анизоцитоз, представленный как микроцитами, так и макроцитами (рис. 2, б).

У животных же второй группы после погружения в наркоз наблюдается существенный пойкилоцитоз. По результатам предварительного исследования эритроцитов препарата нативной крови мы отмечаем: 45% клеток были эхиноцитами обратимой формы (I-го и II-го порядков), 10%-ый анизоцитоз и 45% нормоцитов (Рис.4). После введения наркоза мы наблюдали: выраженный анизоцитоз (30%), кодоциты (15%), единичные стоматоциты, единичные дрепаноциты, сфероциты (30-35%) и выраженная агрегация эритроцитов (Рис.5). При этом нами отмечалась корреляция наличия данных патологических форм эритроцитов со снижением сатурации, отображающей уровень насыщения артериальной крови кислородом. У 3 собак данной группы мы фиксировали снижение оксигенации до 93 %, у 1 собаки до 90 % и у 1 собаки до 95 %. Это наглядно демонстрирует влияние наркоза на состояние крови.

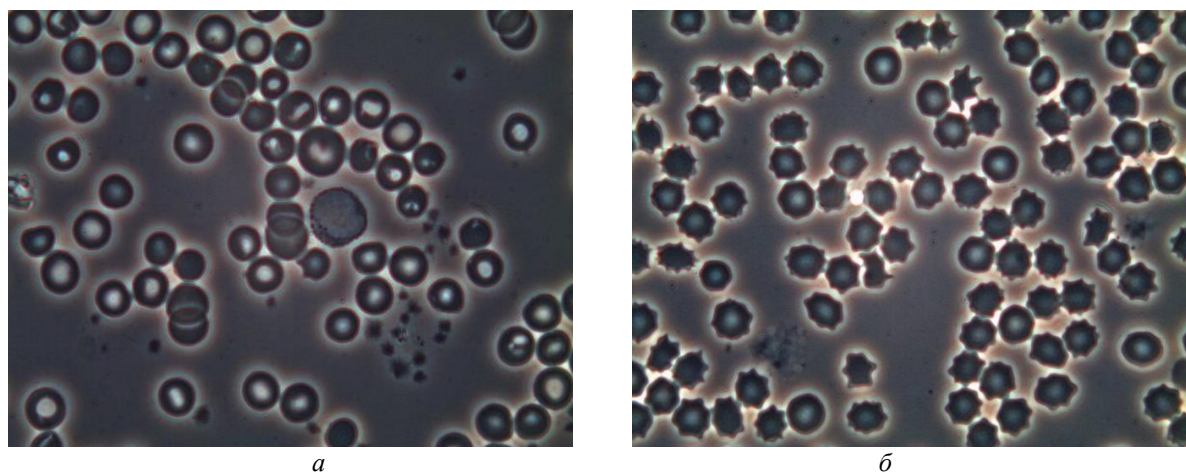


Рис. 4 – Нативный мазок крови у собак 2 группы до погружения в наркоз, на котором представлены: анизоцитоз, гипохромные эритроциты (а) и эхиноциты 1-го и 2-го порядка (б)

Примечания: масштаб x1000

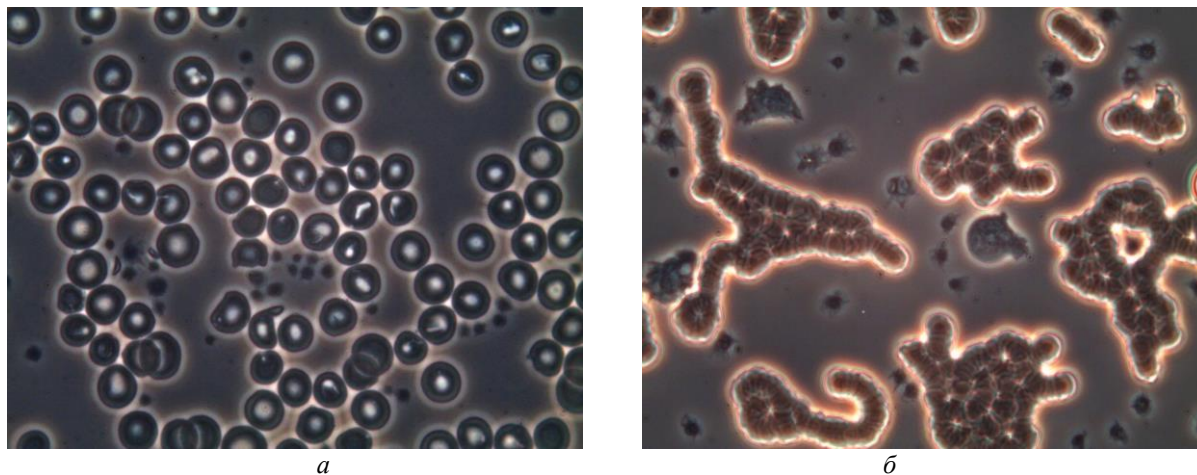


Рис. 5 – Нативный мазок крови собак 2-ой группы после погружения в наркоз, на котором представлен пойкилоцитоз (а) и агрегация эритроцитов (б)

Примечания: масштаб $\times 1000$

Вывод

В ходе нашего изучения поставленного вопроса на практике было установлено следующее влияние наркоза на организм животного: все животные, подвергшиеся операции с наркозом, имели в той или иной степени выраженное изменение структуры эритроцитов, которое напрямую зависело от статуса животного на момент введения наркоза. В связи с вышесказанным можно утверждать, что для всесторонней оценки состояния животных, как в предоперационный, так и в послеоперационный период необходимо оценивать морфологию эритроцитов. Влияние обезболивающего на клиническую картину крови является весьма важным фактором, которым нельзя пренебрегать для предотвращения ухудшения состояния животного и возникновения новых патологических изменений в организме, а также для выбора наиболее корректной терапии.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Долгов В.В. Лабораторная диагностика анемий. / В.В. Долгов, С.А. Луговская, В.Т. Морозова и др. – М.: «Кафедра КЛД», 2009 – 146 с.
2. Китиашвили И.З. Алгоритм прогноза послеоперационных осложнений и выбора метода анестезии / Китиашвили И.З., Буров Н.Е. // Клиническая анестезиология и реаниматология. – 2007. – №4. – С. 56-61.
3. Козловская Н.Г. Оценка глубины анестезии по клиническим признакам у собак / Козловская Н.Г. // Российский ветеринарный журнал. -2010. – №1. – С. 2-5.
4. Крюковская, Г.М. Фазово-контрастная микроскопия для оценки эритроцитов в посттравматическом периоде после кровопотерь / Г.М. Крюковская, Р.А. Крюковский, Н.Р. Боюнчан // Материалы научной конференции «Разработка инновационных инструментальных методов исследования внутренних болезней животных» – М.: ИК МГУПП, 2015 – с. 53-57
5. Кэррол Г.А. Анестезиология и анальгезия мелких домашних животных / пер.с англ., Москва, Аквариум, 2009. – 296 с.
6. Луцай В.И. Фагоцитарная активность нейтрофилов при транспортном стрессе у коз / В.И. Луцай, Г.М. Крюковская, М.В. Матвеева // «Ветеринарная практика» – 2010 – № 2 (49) – С. 30-34.
7. Шаповалова О.А. Морфология эритроцитов при дерматитах паразитарной этиологии у собак / О.А. Шаповалова, И.Г. Глаздин, Ю.А.Ватников // Образовательный вестник «Сознание». 2016. №4.
8. Шаповалова О.А. Морфология эритроцитов при дерматитах паразитарной этиологии у собак / О.А. Шаповалова, Н.Ю. Сысоева, Г.М. Крюковская и др. // Ветеринарный врач. 2016. № 1. С. 34-38.
9. Матвеева М.В. Оценка морфологии эритроцитов после введения пропофола / М.В. Матвеева, Б.В. Уша, Г.М. Крюковская и др. // Ветеринария Кубани, 2013. - №5, стр. 17-19.
10. Крюковская Г.М. Фазово-контрастная микроскопия для оценки эритроцитов в посттравматическом периоде у животных после кровопотерь / Г.М. Крюковская, Р.А. Крюковский, В.И. Луцай и др. // “Разработка инновационных инструментальных методов исследования внутренних болезней животных” - 2015 - С. 53-57.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dolgov V. V. Laboratornaya diagnostika anemij [Laboratory diagnostics of anemia] / V. V. Dolgov, S. A. Lugovskaya, V. T. Morozova, M. E. Pochtar-M.: "Kafedra KLD", 2009-146 p. [in Russian]
2. Kitiashvili I. Z. Algoritm prognoza posleoperacionnykh oslozhnenij i vybora metoda anestezii [Algorithm for predicting postoperative complications and choosing the method of anesthesia] / Kitiashvili I. Z., Burov N. E. // Klinicheskaja anesteziologija i reanimatologija [Clinical anesthesiology and resuscitation]. - 2007. - No. 4. - pp. 56-61 [in Russian]
3. Kozlovskaya N. G. Ocenka glubiny anestezii po klinicheskim priznakam u sobak [Assessment of the depth of anesthesia by clinical signs in dogs] / Kozlovskaya N. G. // Rossijskijj veterinarnyj zhurnal [Russian Veterinary Journal]. -2010. - No. 1. - pp. 2-5 [in Russian]
4. Kryukovskaya, G. M. Fazovo-kontrastnaja mikroskopija dlja ocenki ehritrocitov v posttravmaticheskom periody posle krvopoter' [Phase-contrast microscopy for the assessment of red blood cells in post-traumatic periods after blood loss] /

G. M. Kryukovskaya, R. A. Kryukovsky, N. R. Boyunchan // *Materialy nauchnoï konferencii «Razrabotka innovacionnykh instrumental'nykh metodov issledovaniya vnutrennikh boleznej zhivotnykh»* [Proceedings of the scientific conference "Development of innovative instrumental methods for the study of internal diseases of animals] – Moscow: Moscow State University of Food Production, 2015-pp. 53-57 [in Russian]

5. Carroll G. A. *Anesteziologija i analgezija melkih domashnih zhivotnyh* [Anesthesiology and analgesia of small domestic animals] / G. A. Carrol // translated from English, Moscow, Aquarium, 2009. - 296 p. [in Russian]

6. Lutsay V. I. *Fagocitarnaja aktivnost' nejjtrofilov pri transportnom stresse u koz* [Phagocytic activity of neutrophils under transport stress in goats] / V. I. Lutsay, G. M. Kryukovskaya, M. V. Matveeva // «Veterinarnaja praktika» ["Veterinary practice"] – 2010 – № 2 (49) – pp. 30-34 [in Russian]

7. *Morfologija ehritroцитов pri dermatitakh parazitarnoj ehtiologii u sobak* [Morphology of red blood cells in dermatitis of parasitic etiology in dogs] / Shapovalova O. A., Glamazdin I. G., Vatnikov Yu. A.

8. *Morfologija ehritroцитов pri dermatitakh parazitarnoj ehtiologii u sobak* [Morphology of erythrocytes in dermatitis of parasitic etiology in dogs] / Shapovalova O. A., Sysoeva N. Yu., Kryukovskaya G. M., Verkhovskaya G. L. // *Veterinarnyj vrach* [Veterinary doctor]. 2016. No. 1, pp. 34-38 [in Russian]

9. *Ocenka morfologii ehritroцитов posle vvedenija propofola* [Assessment of the morphology of erythrocytes after the introduction of propofol] / M. V. Matveeva, B. V. Usha, G. M. Kryukovskaya, B. V. Violin // *Veterinarija Kubani* [Veterinary Medicine of Kuban], 2013. - No. 5, pp. 17-19 [in Russian]

10. *Fazovo-kontrastnaja mikroskopija dlja ocenki ehritroцитов v posttravmaticheskom periode u zhivotnykh posle krovopoter'* [Phase contrast microscopy for the evaluation of red blood cells in the post-traumatic period in animals after blood loss] / Kryukovskaya G. M., Kryukovsky R. A., Lutsay V. I., Boyunchan N. R. // «Razrabotka innovacionnykh instrumental'nykh metodov issledovaniya vnutrennikh boleznej zhivotnykh» ["Development of innovative instrumental methods for the study of internal diseases of animals"] - 2015-pp. 53-57 [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.033>**РАСПРОСТРАНЕНИЕ АСКАРИОЗА И ЭЗОФАГОСТОМОЗА СВИНЕЙ
В УСЛОВИЯХ ФЕРМЕРСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Научная статья

Нижельская Е.И.*

Донской государственный аграрный университет, Персиановский, Россия

* Корреспондирующий автор (neiv62[at]mail.ru)

Аннотация

Из обзора литературы известно, что аскариоз и эзофагостомоз — тяжелые паразитарные заболевания, вызываемые гельминтами, относящимися к типу *Nematoda*. Недуги широко распространены во всем мире и представляют большую опасность для животных, пагубно влияя на продуктивность свиней, уменьшая ежедневные привесы и увеличивая расход кормов, что неблагоприятно сказывается на экономическом состоянии хозяйств. Несмотря на то, что по аскариозу и эзофагостомозу свиней имеется большое количество информации, представленной в проанализированной литературе, вопросы ассоциированного течения данных инвазий остаются актуальными. В связи с этим мы решили изучить некоторые эпизоотологические аспекты данной микстинвазии у свиней в условиях фермерского хозяйства Ростовской области с выгульным типом содержания. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи: изучить видовой состав гельминтов свиней в условиях свиноводческой фермы и определить контаминацию внешней среды яйцами *Ascaris suum* и *Oesophagostomum dentatum*.

Ключевые слова: микстинвазия, свиньи, аскариоз, эзофагостомоз, контаминация.

THE SPREAD OF ASCARIASIS AND ESOPHAGOSTOMOSIS OF PIGS IN THE CONDITIONS OF FARMING

Research article

Nizhelskaya E.I.*

Don State Agrarian University, Persianovsky, Russia

* Corresponding author (neiv62[at]mail.ru)

Abstract

As gathered from relevant literature, ascariasis and esophagostomiasis are severe parasitic diseases caused by helminths belonging to the *Nematoda* type. Diseases are widespread all over the world and pose a great danger to animals, adversely affecting the productivity of pigs, reducing daily weight gain and increasing feed consumption, which adversely affects the economic condition of farms. Despite the fact that there is a large amount of information on ascariasis and esophagostomosis in pigs presented in the analyzed literature, the issues of the associated course of these invasions remain relevant. In this regard, the authors attempt to study some epizootological aspects of these diseases in pigs in the conditions of outdoor farming in Rostov Oblast. To achieve this goal, the authors set the following tasks: to study the species composition of pig helminths on pig farms and to determine the contamination of the external environment with *Ascaris suum* and *Oesophagostomum dentatum* eggs.

Keywords: mixinvasia, pigs, ascariasis, esophagostomiasis, contamination.

Свиноводство сейчас является одной из наиболее рентабельных отраслей животноводства, одним из главных источников мяса в Российской Федерации. Показатели производства свинины ежегодно остаются высокими, уступая лишь мясу птицы [8].

Однако заболевания, возникающие на комплексах и фермах, могут повлиять на эффективность выращивания поголовья и особо значимые показатели, такие как привесы, процент воспроизводства и падежа [5], [6].

Паразитарные заболевания чаще всего встречаются на небольших животноводческих фермах с невысоким уровнем биобезопасности, а также в частных фермерских хозяйствах [1].

Известно, что в организме свиней редко паразитирует один вид возбудителя, чаще их несколько и они оказывают губительное воздействие на организм хозяина, поэтому проведение плановой профилактики паразитарных заболеваний свиней является неотъемлемой частью технологии их выращивания. Наиболее часто у свиней встречаются микстинвазии, включающие в себя такие заболевания, как аскариоз, трихоцефалёз и эзофагостомоз [3], [4]. Ассоциированное течение этих инвазий приводит к глубоким и стойким нарушениям обмена веществ в организме, заметным отставанием в росте, потерей массы тела, возникновением дисбактериоза желудочно-кишечного тракта, нарушением иммунологического статуса, нередко гибелью животных [7], [10].

В Южном Федеральном округе до сих пор отмечается большая экстенсивизированность свиней эзофагостомами, которая в среднем составляет 33,9% при сильных колебаниях в разные годы от 9% до 62,5%. Из субъектов федерации данного округа наибольшая зараженность свиней наблюдается в Краснодарском крае, Ростовской и Волгоградской областях.

По результатам проведенных копрологических исследований известно, что в 2018 году в хозяйствах разного типа, расположенных в Ростовской области, средняя экстенсивность аскариозной инвазии свиней составляла 19,7% с колебаниями в разные годы от 11,2% до 29,1% [2].

Работа выполнялась в течение 2019 – 2020 годов на свиноферме ЛПХ расположенного в Красносулинском районе Ростовской области и на кафедре паразитологии, ветеринарно-санитарной экспертизы и эпизоотологии факультета ветеринарной медицины ФГБОУ ВО Донской ГАУ.

Определение видовой состава гельминтов свиней в условиях свиноводческой фермы проводилось методами прижизненной и посмертной диагностики: гельминтоооскопия и гельминтолярвоскопия на кафедре паразитологии, ветсанэкспертизы и эпизоотологии; неполное гельминтологическое вскрытие на территории свинофермы. Гельминтоооскопические исследования фекалий свиней осуществляли с использованием флотационного метода

Котельникова-Хренова, гельминтоляроскопию с целью уточнения диагноза на эзофагостомоз проводили методом культивирования личинок по Петрову.

Пробы фекалий отбирали осенью 2020 года. Сбор фекалий проводился посредством специального шпателя по 5 грамм из случайно выбранных станков разных групп животных. Всего было собрано 65 проб от различных возрастных групп животных: свиноматки – 10 проб, поросята 2-4 месячного возраста – 30 проб, поросята 5-8 месячного возраста – 25 проб.

Для определения видовой принадлежности выявленных яиц и личинок проводили микроскопирование проб.

Выявленные яйца и личинки гельминтов идентифицировали с помощью атласа А.А. Черепанова «Дифференциальная диагностика гельминтозов по морфологической структуре яиц и личинок возбудителей». Личинки эзофагостом определялись по наличию у них двойного кутикулярного чехлика и длинного шиловидного хвоста [9].

Параллельно копрологическим исследованиям периодически проводилось неполное гельминтологическое вскрытие павших животных по Скрыбину. Вскрытия тонкого и толстого кишечника осуществлялись непосредственно на территории свиноводческой фермы. Гельминтологическому вскрытию подвергли 30 голов, в том числе поросят до двух месячного возраста – 5, поросят на доращивании – 13, поросят на откорме – 10, свиноматок – 2.

Для изучения степени контаминации свиноводческих помещений проводились паразитологические исследования соскобов и смывов с кормушек, пола, предметов ухода, обуви обслуживающего персонала, выгульных площадок, с кожи вымени и конечностей свиноматок.

Всего исследовали 74 пробы, в том числе соскобов и смывов с кормушек - 14, с пола - 14, стен станков - 10, предметов ухода - 10, обуви обслуживающего персонала - 7, выгульных площадок - 9, с кожи вымени и конечностей свиноматок - 10 проб. Соскобы брали с помощью шпателя массой не менее 3 грамм. Каждую пробу помещали в отдельный пакетик. Исследование проводилось согласно ГОСТ Р 54627-2011

Смывы мы делали путём протирания поверхностей влажными тампонами, которые были помещены в пробирку с резиновой пробкой. Пробы смывов переносили на часовое стекло, с помощью пинцета отжимали тампоны, а полученный осадок исследовали под микроскопом.

В результате проведенных исследований 65 проб было выявлено 33 пробы, обсеменённых яйцами и личинками нескольких видов гельминтов. Это составило 50,8% от числа исследованных проб. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Видовой состав гельминтов свиней в условиях ЛПХ (по результатам копрологических исследований)

Выявленные яйца и личинки возбудителей	Количество положительных проб	% от общего числа исследованных проб
Аскариды + эзофагостомы	16	24,6
Аскариды	10	15,4
Эзофагостомы	5	7,7
Трихоцефалы	2	3,1

Из представленной таблицы 1 мы видим, что в 16 из 65 исследованных проб фекалий были обнаружены яйца возбудителей аскаридоза и эзофагостомоза, это составило 24,6%, яйца аскарид – в 10 пробах (15,4%), эзофагостом – в 5 (7,7%), трихоцефал – в 2 (3,1%).

Результаты проведенных неполных гельминтологических вскрытий, подтвердили полученные данные копрологических исследований. Данные видового состава гельминтов свиней по результатам неполного гельминтологического вскрытия представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Видовой состав гельминтов свиней в условиях ЛПХ (по результатам неполного гельминтологического вскрытия)

Выявленные гельминты	Количество инвазированных туш	% инвазированных туш от числа вскрытий
Аскаридоз + эзофагостомоз	5	16,7
Аскаридоз	2	6,7
Эзофагостомоз	1	3,3
Трихоцефалез	1	3,3

Неполное гельминтологическое вскрытие выявило, что из 30 обследованных трупов, 9 были заражены разными видами паразитов, что составило 30% от общего числа вскрытых животных. Анализируя результаты, представленные в таблице 2, мы видим, что из 9 инвазированных туш свиней у 5 (16,7%) выявлена микстинвазия (аскаридоз и эзофагостомоз), у 2 (6,7%) - аскаридоз, эзофагостомоз и трихоцефалез у 2 животных, что составило по 3,3% соответственно.

С целью изучения степени распространения аскаридоза, эзофагостомоза свиней в условиях свиноводческой фермы ЛПХ, а также выявления факторов их передачи, мы исследовали пробы с объектов внешней среды, кожи, молочных желез и конечностей свиноматок, с обуви обслуживающего персонала и инвентаря. Данные проведенных исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Контаминация объектов внешней среды

Пробы	Количество взятых проб	Количество положительных проб	% от общего числа проб
Кормушки	14	3	21
Пол	14	4	28
Стен станков	10	2	20
Пробы инвентарь	10	7	70
Пробы обувь	7	3	43
Выгульные площадки	9	7	77
Молочные железы	10	6	60
Всего проб	74	32	43,24

Результаты исследований показали, что на свиноферме в пробах, взятых с выгульных площадок, инвазионные яйца нематод обнаружены в 77% случаев, с пола - в 28%, кормушек - в 21%, стен станков - в 20% случаев. Молочные железы и конечности свиноматок контаминированы в 60% случаев. Кроме того, яйца нематод обнаружили в 43% проб с обуви и в 70% проб с инвентаря обслуживающего персонала. Из таблицы 3 видно, что из всех исследуемых объектов внешней среды больше всего яйцами аскаридов и трихоцефал контаминированы выгульные площадки и обувь обслуживающего персонала (77% и 70% соответственно). Меньше всего инвазионное начало данных гельминтозов обнаружено на стенах станков и кормушках (20% и 21% соответственно).

При анализе полученных результатов можно сделать вывод, что у свиней, принадлежащие свиноферме ЛПХ Красносулинского района Ростовской области, наиболее часто выявляется ассоциированное течение эзофагостомоза и аскаридоза. Гельминтоувоскопией и гельминтоляровоскопией было установлено, что в 24,6% проб фекаса из числа положительных содержатся и яйца аскарид, и личинки эзофагостом. Неполное гельминтологическое вскрытие подтвердило данный вывод, а именно у 16,7% инвазированных туш была выявлена эта микстинвазия.

Анализируя полученные данные, можно сказать, что наиболее частыми источниками заражения выявленной микстинвазией для свиней в данном хозяйстве, становятся выгульные площадки, а также обувь работающих на ферме, как наиболее контаминированные инвазионным началом данных гельминтозов.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Васильев Е. Н. Биология и плодовитость возбудителей, эпизоотология и терапия нематодозов свиней в крестьянских и фермерских хозяйствах: автореф. дис. канд. вет. наук / Е. Н. Васильев. – Н. Новгород, 2004. – 19 с.
2. Донник И. М. Распространение и родовой состав возбудителей гельминтозов и протозоозов свинополовья животноводческих организаций / И. М. Донник, И. М. Сажаев // Аграрный вестник. 2018. № 9. С. 10-13.
3. Котков, А. В. Эзофагостомоз свиней / А. В. Котков // Ветеринария. 2008. № 10. С. 38-42.
4. Петров Ю. Ф. Ассоциативные болезни свиней и их профилактика. / Ю. Ф. Петров. – Иваново, 1999. 55 с.
5. Сафиуллин Р. Т. Эпизоотологическая ситуация по аскаридозу и эзофагостомозу свиней по зонам страны и прогноз заболеваемости / Р. Т. Сафиуллин, А. В. Котков, С. Е. Басынин // Свиноводство. 2009. № 5. С. 64-66.
6. Сафиуллин Р. Т. Эпизоотологическая ситуация по паразитозам свиней в фермерских и крестьянских хозяйствах / Р. Т. Сафиуллин // Тр. Всерос. ин-та гельминтол. – 1997. – Т. 33. – С. 139-146.
7. Субботин, А. М. Гельминты как основной компонент паразитарной системы животных / А. М. Субботин // Ученые записки учреждения образования "Витебская ордена "Знак почета" государственная академия ветеринарной медицины". — 2012. — № 1-1. — С. 203-206.
8. Цой Л. М. Перспективы развития свиноводства в России / Л. М. Цой // Техника и технологии в животноводстве. 2018. №1 (29). [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-svinovodstva-v-rossiirossii> (дата обращения: 17.06.2021).
9. Черепанов А. А. Дифференциальная диагностика гельминтозов по морфологической диагностике яиц и личинок возбудителей: атлас. / А. А. Черепанов, А. С. Москвин, Г. А. Котельников, В. М. Хренов. – М.: Колос, 2001. – 76 с.
10. Ямщиков В. Н. Распространение и терапия кишечных гельминтозов свиней / В. Н. Ямщиков: дис. ... канд. ветеринар. наук.: 03.00.19. Н. Новгород, 2003. 122 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vasiliev E. N. Biologija i plodovitost' vozбудitelej, ehpi-zootologija i terapija nematodozov svinej v krest'janskikh i fermerskikh khozajstvakh [Biology and fecundity of pathogens, epizootology and therapy of pig nematodes in peasant and farm farms]: extended abstract of Candidate's thesis. Veterinary Sciences / E. N. Vasiliev – N. Novgorod, 2004 – 19 p. [in Russian]
2. Donnik I. M. Rasprostranenie i rodovoj sostav vozбудitelej gel'mintozov i protozoozov svinopogolov'ja zhivotnovodcheskikh organizacij [Distribution and generic composition of pathogens of helminthiasis and protozoosis of pig-head of livestock organizations] / I. M. Donnik, I. M. Sazhaev // Agrarian Bulletin. 2018. № 9, pp. 10-13 [in Russian]
3. Kotkov, A. V. Ehzofagostomoz svinej [Esophagostomosis of pigs] / A. V. Kotkov // Veterinarija [Veterinary medicine]. 2008. № 10, pp. 38-42 [in Russian]
4. Petrov Yu. F. Associativnye bolezni svinej i ikh profilaktika. [Associative diseases of pigs and their prevention] / Petrov Yu. F. // extended abstract. - Ivanovo, 1999. 55 p. [in Russian]

5. Safiullin R. T. Ehpizootologicheskaja situacija po askariozu i ehzofagostomozu svinejj po zonam strany i prognoz zabolevaemosti [Epizootological situation of ascariasis and esophagostomosis of pigs by zones of the country and the prognosis of morbidity] / R. T. Safiullin, A. V. Kotkov, S. E. Basyrin // Svinovodstvo [Pig Farming]. 2009. № 5, pp. 64-66 [in Russian]
6. Safiullin R. T. Ehpizootologicheskaja situacija po parazitozam svinejj v fermerskikh i krest'janskikh khozajstvakh [Epizootological situation of pig parasitoses in farms and peasant farms] / R. T. Safiullin // Research from the All-Russian Parasitology Institute. - 1997. - Vol. 33 – pp. 139-146 [in Russian]
7. Subbotin, A. M. Gel'minty kak osnovnoj komponent parazitarnoj sistemy zhivotnykh [Helminths as the main component of the parasitic system of animals] / A. M. Subbotin // Uchenye zapiski uchrezhdenija obrazovanija "Vitebskaja ordena "Znak pocheta" gosudarstvennaja akademija veterinarnoj mediciny" [Bulletin of the educational institution "Vitebsk Order" Badge of Honor "State Academy of Veterinary Medicine"]. - 2012. - No. 1-1. - pp. 203-206 [in Russian]
8. Tsoi L. M. Perspektivy razvitija svinovodstva v Rossii [Prospects for the development of pig breeding in Russia] / L. M. Tsoi // Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve [Technique and technologies in animal husbandry]. 2018. №1 (29). [Electronic resource]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-svinovodstva-v-rossiirossii> (accessed: 17.06.2021) [in Russian]
9. Cherepanov A. A. Differencial'naja diagnostika gel'mintozov po morfologichesknoj diagnostike jaic i lichinok vzbuditelej: atlas [Differential diagnosis of helminthiasis by morphological diagnosis of eggs and larvae of pathogens: atlas]. / A. A. Cherepanov, A. S. Moskvina, G. But. Kotelnikov, et al. – M.: Kolos, 2001 – 76 p. [in Russian]
10. Yamshchikov V. N. Rasprostranenie i terapija kishechnykh gel'mintozov svinejj [Distribution and therapy of intestinal helminthiasis in pigs]: extended abstract of Candidate's thesis. Veterinary science: 03.00.19. N. Novgorod, 2003. 122 p. [in Russian]

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.9.111.034>

ИММУНОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ ЩЕНКОВ КРАСНОЙ ЛИСИЦЫ (*VULPES VULPES*) ПРИ ВВЕДЕНИИ СУБАЛИНА

Научная статья

Сюткина А.С.^{1,*}, Домский И.А.²

¹ ORCID: 0000-0003-3234-8602;

^{1,2} Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства
им. проф. Б.М. Житкова, Киров, Россия

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

Аннотация

В статье приведены результаты исследования влияния пробиотика субалина на иммуноморфологические показатели крови молодняка красной лисицы в двух и восьми месячном возрасте. Оценку влияния пробиотика проводили по основным гематологическим, биохимическим и иммунологическим показателям крови. В результате исследований установили, что применение субалина в течение 5 дней во всех опытных группах зверей оказывает влияние на иммуноморфологические показатели крови: у щенков в 8 месячном возрасте увеличивается количество эритроцитов на 9,8%, уровня гемоглобина на 7,2%, а уровень лейкоцитов снижается на 20-25%, повышает количество общего белка, β -, γ -глобулинов, бактерицидную и фагоцитарную активность сыворотки крови.

Ключевые слова: субалин, красная лисица, кровь, сыворотка крови, белковые фракции, фагоцитарная реакция нейтрофилов, бактерицидная активность.

IMMUNOMORPHOLOGICAL BLOOD PARAMETERS OF RED FOX PUPS (*VULPES VULPES*) WITH THE INTRODUCTION OF SUBALIN

Research article

Syutkina A.S.^{1,*}, Domskey I.A.²

¹ ORCID: 0000-0003-3234-8602;

^{1,2} All-Russian Scientific Research Institute Of Hunting And Fur Farming Named After Professor B.M. Zhitkov, Kirov, Russia

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

Abstract

The article presents the results of a study of the effect of the probiotic subalin on the immunomorphological blood parameters of red fox pups at two and eight months of age. The effect of the probiotic was evaluated according to the main hematological, biochemical and immunological blood parameters. As a result of the research, the study demonstrates that the use of subalin for 5 days in all experimental groups of animals has an effect on the immunomorphological blood parameters: in pups at the age of 8 months, the number of red blood cells increases by 9.8%, the level of hemoglobin by 7.2%, and the level of white blood cells decreases by 20-25%, increases the amount of total protein, β -, γ -globulins, bactericidal and phagocytic activity of blood serum.

Keywords: subalin, red fox, blood, blood serum, protein fractions, phagocytic reaction of neutrophils, bactericidal activity.

Введение

На разных этапах постнатального онтогенеза в организме молодняка красной лисицы происходят изменения иммуноморфологических показателей крови. В процессе онтогенетического развития на организм животных оказывают влияние внешние стресс- факторы: отсадка от матери, смена кормления, в период перехода на основной рацион, плановые ветеринарные мероприятия (иммунизация, витаминизация) и т.д. [7], [8], [9]. В настоящее время для снижения уровня стресса применяют различные биологически активные вещества разной этиологии: витаминно-минеральные, ферментные препараты и пробиотики.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследований использовали пушных зверей семейства Canidae: лисица красная «Огневка Вятская» (*Vulpes vulpes*), молодняк 2 и 8 месячного возраста. Группы зверей сформированы по методу парных аналогов, в опыт отбирали клинически здоровых животных, зверей выборочно взвешивали.

В работе использован пробиотик субалин, в основе препарата использован штамм *B. subtilis* 2335 (105) ВКПМ В4759, обезвоженный в защитной среде, содержащей сахарозу и желатин.

Скармливание пробиотика субалин проводили в течение 5 дней в дозе 1-2 *10⁸ КОЕ/кг смешивая препарат с кормом. Взятие крови проводили до введения и через 5 дней применения субалина.

Эксперименты на животных проводили в соответствии с методическими указаниями Балакирева Н.А. и др., [2], [6]. Работа выполнена с соблюдением международных гуманных отношении к животным (WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013), принципов гуманности, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2010/63/ЕС «О защите животных, используемых для научных целей» (Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes, 2010), в соответствии с правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных. [Приложение к Приказу МЗ СССР № 755 от 12.08.1977]. [10]

Методы исследований

Кровь для исследований у красной лисицы «Огневка Вятская» брали (n=10 каждой группы) из латеральной подкожной вены голени до начала опытов и в конце проведения опытов.

Биохимические методы

Морфологические показатели крови животных определяли с использованием автоматического гематологического анализатора ERMA INC модель PCE-90 (Япония). Белковые фракции в сыворотке крови определяли нефелометрическим методом по В.Я. Антонову с соавт. [1], бактерицидную активность сыворотки крови определяли по методу Т.А. Кузьминой, О.В. Смирновой [5], опсоно-фагоцитарную реакцию по А.С. Лабинской [4].

Статистические данные

Полученные данные обрабатывали с использованием пакетов программ MS Excel и Statgraphics общепринятыми методами вариационной статистики, сравнение различий между группами проводили с применением непараметрического критерия (U) Вилкоксона-Манна-Уитни. Статистически значимыми считали различия с $p < 0,05$.

Результаты исследований

Скармливание пробиотика субалин щенкам красной лисицы проводили в день отсадки от матери, при переводе на основной рацион. За щенками опытной и контрольной групп проводили наблюдения и фиксировали изменения поведения (угнетение, повышенная активность, отказ от корма и т.д.). Изучение влияния субалина на иммуноморфологические показатели крови в организме красной лисицы проводили в два этапа. Первый этап исследования осуществляли на щенках красной лисицы в возрасте 2 месяцев.

Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследований иммуноморфологических показателей крови у щенков красной лисицы в 2 и 8 месячном возрасте

Показатели	Возраст группы			
	2 месяца		8 месяцев	
	Опытная группа (n=10)	Контрольная группа (n=10)	Опытная группа (n=10)	Контрольная группа (n=10)
количество эритроцитов, $10^{12}/л$	8,23±1,39	8,88±1,23	9,42±0,55*	8,58±0,29*
количество лейкоцитов, $10^9/л$	5,47±0,2*	7,33±0,2*	5,2±0,12*	6,5±0,35*
гемоглобин, г%	13,4±0,11	13,4±0,07	14,8±0,6	13,8±0,38
общий белок, г %	7,86±0,6*	6,03±0,6*	7,9±0,6*	6,3±0,6*
Альбумины, %	53,9±8,7*	67,8±1,0*	50,8±3,7*	65,8±1,0*
α- глобулин, %	8,76±1,76	7,88±2,07	8,6±1,0	7,8±0,7
β – глобулины, %	20,88±11,94*	9,42±5,54*	20,8±1,94*	9,42±3,54*
γ – глобулин, %	16,39±3,06	14,88±2,78	16,9±2,06	14,8±1,8
Общие иммуноглобулины, г %	144,67±67,7	139±64,94	155,7±27,7	139±24,94
Бактерицидная активность сыворотки крови	47,7±1,4*	17,1±1,54*	54,5±6,7*	30,2±4,4*
Фагоцитарная активность нейтрофилов	40,6±0,15*	22,8±0,22*	45±0,25*	26,8±0,22*

Примечание: * $p < 0,05$

Как видим из таблицы 1, скармливание пробиотика субалин щенкам 2 месячного возраста не оказывает значительного влияния на гематологические показатели крови. Количество эритроцитов и уровень гемоглобина в обеих группах остается в пределах физиологической нормы. Достоверное снижение ($p < 0,05$) лейкоцитов в опытной группе зверей на 25 % происходит на 5- й день применения пробиотика.

При изучении влияния субалина на иммуноморфологические показатели крови щенков красной лисицы в 8 месячном возрасте на 5 день применения субалина происходит достоверное увеличение ($p < 0,05$) количества эритроцитов на 9,8%, уровня гемоглобина на 7,2%, а так же снижение количества лейкоцитов у зверей опытной группы (на 20 %).

При изучении сыворотки крови у щенков в 2 месячном установлено, что применение субалина оказывает влияние на уровень и содержание белковых фракций в сыворотке крови: у зверей опытной группы происходит достоверное ($p < 0,05$) снижение количества альбуминов, и составляет 53,89±8,7%, что на 14% меньше, чем у зверей контрольной группы, а уровень α- глобулинов и γ – глобулинов у щенков обеих групп значительно не менялся. При этом уровень β – глобулинов у зверей опытной группы достоверно ($p < 0,05$) выше (в 2,2 раза), чем у зверей контрольной группы. Количество общих иммуноглобулинов у зверей опытной группы выше, чем в контрольной и составлял 144,67±67,7 и 139±64,94 соответственно, однако разница полученных результатов недостоверна. При оценке бактерицидной активности сыворотки крови и фагоцитарной активности нейтрофилов в опытной группе зверей показатели достоверно выше.

При исследовании сыворотки крови красной лисицы в 8 месячном возрасте, установили, что субалин влияет на соотношение белка и белковых фракций. Таким образом, установлено, что у зверей опытной группы уровень общего белка увеличивается на 20,25%. При определении количества α -, β -, γ - глобулинов отмечено увеличение этих показателей в опытной группе зверей на 9,3; 54,7 и 12,4 % соответственно при этом количество альбуминов снижается на 29,5 %. При определении некоторых иммунологических показателей на 5-й день после применения субалина, установлено, что в опытной группе щенков увеличение бактерицидной активности на 3,7 %, и общих иммуноглобулинов на 10,6 %. по сравнению с контрольной группой. Фагоцитарная активность нейтрофилов достоверно выше в опытной группе зверей ($p < 0,05$).

Заключение

Таким образом, исходя полученных данных применение пробиотика субалин целесообразно для снижения стресс-факторов, таких как: отсадка от матери, переход на основной рацион, проведение плановых ветеринарных мероприятий, влияющих на организм щенков в целом, а также оказывает влияние на некоторые гематологические иммуноморфологические показатели крови.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Антонов, Б.И. Лабораторные исследования в ветеринарии - бактериальные инфекции / Б.И. Антонов. М.: Агропромиздат. — 1986.—С. 70-72
2. Балакирев, Н.А. Методические указания проведения научно-хозяйственных опытов по кормлению пушных зверей / Н.А. Балакирев, В.К. Юдин – М.: Россельхозиздат. — 1994. —31 с.
3. Дорофейчук, В.Г. Определение активности лизоцима нефелометрическим методом / В.Г. Дорофейчук // Лабораторное дело —1968. -№ 1—С. 12.
4. Лабинская, А.С. Микробиология с техникой микробиологических исследований / А.С. Лабинская. М.: Медицина. —1981. —С. 92.
5. Кузьмина, Т.А. Определение бактерицидной активности сыворотки крови методом фотонепелометрии / Т.А. Кузьмина, О.В. Смирнова //Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии.—1966. —№4 —С. 8-11.
6. Овсянников А.И. Основы опытного дела в животноводстве / А.И. Овсянников. М.: Колос, —1976.— 304 с.
7. Соловьева А.С. Результаты применения пробиотика субалин на молодняке енотовидной собаки и красной лисицы / А.С. Соловьева, И.А. Домский // В сборнике: Современные научно-практические достижения в ветеринарии. Сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию С. 188-189.
8. Тебенькова Т.В. Белковый обмен у domesticированных лис (Vulpes vulpes L.) разных генотипов в постнатальном онтогенезе / Т.В. Тебенькова, О.Н. Сухих, А.Е. Кокорина и др. // Международный вестник ветеринарии. 2018. № 4. С. 115-119.
9. Тюфяков В.С. Оценка поствакцинального иммунитета при иммунизации щенков енотовидной собаки против чумы плотоядных на фоне применения пробиотика субалин / В.С. Тюфяков, А.С. Сюткина, И.И. Окулова // В книге: VII Международная конференция молодых ученых: биофизиков, биотехнологов, молекулярных биологов и вирусологов. В рамках площадки открытых коммуникаций OpenBio-2020. 2020. С. 353-355.
10. Правила проведения работ с использованием экспериментальных животных. [Приложение к Приказу МЗ СССР № 755 от 12.08.1977].

Список литературы на английском языке / References in English

1. Antonov, B. I. Laboratornye issledovaniya v veterinarii - bakterial'nye infekcii [Laboratory tests in veterinary medicine - bacterial infections] / B. I. Antonov. Moscow: Agropromizdat. - 1986. - pp. 70-72 [in Russian]
2. Balakirev, N. A. Metodicheskie ukazaniya provedeniya nauchno-khozhajstvennykh opytov po kormleniju pushnykh zverey [Methodological guidelines for conducting scientific and economic experiments on feeding fur-bearing animals] / Balakirev N. A., Yudin V. K. // - M.: Rosselkhozizdat. - 1994. - 31 p. [in Russian]
3. Dorofeychuk, V. G. Opredelenie aktivnosti lizocima nefelometricheskimi metodami [Determination of lysozyme activity by the nephelometric method] / V. G. Dorofeychuk // Laboratornoe delo [Laboratory business], 1968. - No. 1, p. 12 [in Russian]
4. Labinskaya, A. S. Mikrobiologiya s tekhnikoij mikrobiologicheskikh issledovaniij [Microbiology with the technique of microbiological research] / A. S. Labinskaya. M.: Medicine. -1981. - p. 92 [in Russian]
5. Kuzmina, T. A. Opredelenie baktericidnoj aktivnosti syvorotki krovi metodom fotonefelometrii [Determination of the bactericidal activity of blood serum by photonephelometry] / Kuzmina T. A. Smirnova O. V. // Zhurnal mikrobiologii, ehpidemiologii i immunologii [Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunology].-1966. - No. 4, pp. 8-11 [in Russian]
6. Ovsyannikov A. I. Osnovy opytnogo dela v zhivotnovodstve [Fundamentals of experimental business in animal husbandry] / A. I. Ovsyannikov. Moscow: Kolos, -1976. - 304 p. [in Russian]
7. Solovyova A. S. Rezul'taty primeneniya probiotika subalin na molodnjake enotovidnoj sobaki i krasnoj lisicy [Results of the use of the probiotic subalin on young raccoon dogs and red foxes] / Solovyova A. S., Domsky I. A. // V sbornike: Sovremennye nauchno-prakticheskie dostizheniya v veterinarii. Sbornik statej Mezhhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj 80-letiju [In the collection: Modern scientific and practical achievements in veterinary medicine. Collection of articles of the International scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary] pp. 188-189 [in Russian]

8. Tebenkova T. V. Belkovyyj obmen u domesticirovannykh lisic (*Vulpes vulpes* L.) raznykh genotipov v postnatal'nom ontogeneze [Protein metabolism in domesticated foxes (*Vulpes vulpes* L.) of different genotypes in postnatal ontogenesis] / T. V. Tebenkova, O. N. Sukhykh, A. E. Kokorina et al. // *Mezhdunarodnyj vestnik veterinarii* [International Bulletin of Veterinary Medicine]. 2018. № 4, pp. 115-119 [in Russian]

9. Tyufyakov V. S. Ocenka postvakcinal'nogo immuniteta pri immunizacii shhenkov enotovidnoj sobaki protiv chumy plotjadnykh na fone primeneniya probiotika subalin [Evaluation of post-vaccination immunity during immunization of raccoon dog puppies against carnivorous plague against the background of the use of the probiotic subalin] / V. S. Tyufyakov, A. S. Syutkina, I. I. Okulova // V knige: VII Mezhdunarodnaja konferencija molodykh uchenykh: biofizikov, biotekhnologov, molekuljarnykh biologov i virusologov. V ramkakh ploshhadki otkrytykh kommunikacijj OpenBio [The VII International Conference of Young Scientists: Biophysicists, Biotechnologists, molecular biologists and virologists. Within the framework of the open communications platform OpenBio-2020]. 2020. Pp. 353-355 [in Russian]

10. Pravila provedeniya rabot s ispol'zovaniem ehksperimental'nykh zhivotnykh [Rules for carrying out work using experimental animals. [Appendix to the Order of the Ministry of Health of the USSR No. 755 of 12.08.1977] [in Russian]