№ 5 (107) ▪ 2021
Часть 1 ▪ Май

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЖУРНАЛ

INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL

ISSN 2303-9868 PRINT
ISSN 2227-6017 ONLINE

Екатеринбург
2021

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЖУРНАЛ
INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL
ISSN 2303-9868 PRINT
ISSN 2227-6017 ONLINE

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+

№ 5 (107) 2021
Часть 1
Май

Дата выхода 17.05.2021
Подписано в печать 11.05.2021
Тираж 200 экз.
Цена: бесплатно.
Заказ 295118.
Отпечатано с готового оригинал-макета.
Отпечатано в типографии "А-принт".
620049, г. Екатеринбург, пер. Лобачевского, д. 1.

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

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

Члены редколлегии:

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

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

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

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

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

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

Биологические науки:
Буланый Ю.П. д-р биол. наук, Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (Саратов, Россия);
Аникин В.В., д-р биол. наук, проф., Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (Саратов, Россия);
Еськов Е.К. д-р биол. наук, проф., Российский государственный аграрный заочный университет (Балашиха, Россия);
Ларионов М.В., д-р биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва, Россия).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Екатеринбург
2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

Кротова Е.Л., Андреев Р.А., Андреева П.А.
BIG DATA В АВИАЦИОННОЙ ОТРАСЛИ: ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ 6

Капустина Г.Г., Крамарь Е.И., Леоненко Н.А.
ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА ДИСПЕРСНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ 10

Сафина Г.Ф.
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВУХСЕГМЕНТНОЙ БАЛКИ С УЧЕТОМ АБСОЛЮТНО ЖЕСТКИХ ЗАКРЕПЛЕНИЙ 15

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

Аникьева М.А., Шмаглий А.А., Максимова Е.В.
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДОСТИЖЕНИЙ СТУДЕНТОВ 23

Аникьева М.А., Грибинюк С.А., Бартуханова И.А., Лисиченко Н.В.
ПЛАНИРОВАНИЕ В ДОПЕЧАТНОЙ ПОДГОТОВКЕ 30

Бектібай Б.Ж., Болат Ж.Б.
АНАЛИЗ ПИЩЕВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА ХАССП/МС ИСО 22000:2005 В ПРОИЗВОДСТВЕ КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА 36

Буренко Е.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РАДИОСИСТЕМ САМОНАВЕДЕНИЯ ПРИ НАВЕДЕНИИ МЕТОДОМ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ 40

Глушаков В.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ВОЗМОЖНОЙ НЕУДАЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ ОДНОГО ПАКЕТА С ЗАДЕРЖКОЙ В СЕТИ WI-FI 61

Зыков А.В., Юнин В.А., Захаров А.М., Егорова К.И.
АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПРОИЗВОДСТВА СМОРОДИНЫ ЧЕРНОЙ 67

Рожков Г.А., Перекопский А.Н.
ВЛИЯНИЕ СКАРИФИКАЦИИ НА ПРОЧНОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ СЕМЯН БОБОВЫХ ТРАВ 72

Лаврик А.Е., Тропченко А.А.
СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ИГРЫ В РАЗНОВИДНОСТЬ ПОКЕРА “ТЕХАССКИЙ ХОЛДЕМ” 75

Лутьянов А.В., Леонов А.В., Снимщиков К.А.
ТОЧНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ РАСТАЧИВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ 79

Музаев А.К.
РОЛЬ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РАЗВИТИИ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ 83

Проценко И.Г.
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ УЛОВА НА РЫБОПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ 87

Середа С.Н.
ВЛИЯНИЕ ИНСОЛЯЦИИ НА МИКРОКЛИМАТ ПОМЕЩЕНИЯ 93

Чайка В.С., Тетиора С.Ю.
ДИАГНОСТИКА ВВОДОВ ВОЗДУХ-ЭЛЕГАЗ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ЭЛЕГАЗОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ 99

Череповская Е.Н., Лямин А.В.
АФФЕКТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ 105

Шангина Е.И.
ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙЧАТОЙ ГЕОМЕТРИИ 113

АРХИТЕКТУРА / ARCHITECTURE

Гурбатов Р.И., Сергеева Н.Д.
К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ СОЗДАНИЯ КОМФОРТНОЙ СРЕДЫ ГОРОДСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ 120

Asrar Kanishka, Okolnikova G.E., Hesam Ali A.R., Svintsov A.P.
ON THE ROLE OF NANOTECHNOLOGY IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY AND ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS 125

Мирзоева Ф.З.
ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СРЕДУ ИСТОРИЧЕСКИХ ГОРОДОВ ТАДЖИКИСТАНА 132

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES

Баринова Е.А., Колганов А.Е.
ВЛИЯНИЕ ГОСПОДДЕРЖКИ НА РАЗВИТИЕ МОЛОЧНОГО СКОТОВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ 137

Пономарева А.В., Бунькова Н.П.
РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА НА БАЗЕ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ 142

Вайс А.А.
ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСА ДРЕВЕСИНЫ В ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЯХ СРЕДНЕСИБИРСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ 148

Голубев А.В., Борисов В.А., Масловский С.А., Сотова Е.С., Замятина М.Е., Карпова Н.А., Смоленинова Н.А.
АНАЛИЗ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ХРАНЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ В ОТРАЖЕНИИ НАУКОМЕТРИИ 152

Калоев Б.С.
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ПРЕПАРАТОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ 156

Косенко Т.Г.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИНТЕНСИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ООО «АГРОФИРМА «НОВОЩЕРБИНОВСКАЯ» 160

Боровик А.Н., Костылев П.И., Костылева Л.М., Савченко С.А., Васильева А.М.
ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ СОРТОВ И ЛИНИЙ ОЗИМОЙ ШАРОЗЕРНОЙ ПШЕНИЦЫ (TRITICUM SPHAEROCOCCUM) В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОЙ ЗОНЫ КУБАНИ 165

Кровикова А.Н., Лепёхина Т.В., Болотова Е.Н.
МОЛОЧНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ КОРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СЕРВИС-ПЕРИОДА 171

Кузичев О.Б.
ИЗУЧЕНИЕ ОКРАСКИ ТЫЧИНОК И ПЕСТИКА ГЛАДИОЛУСА ГИБРИДНОГО (*GLADIOLUS HYBRIDUS* HORT.) 175

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

Гороховский А.В., Чепель А.А., Морозова Н.О., Хазова А.Б., Тихомирова Е.И., Викулова М.А., Растегаев О.Ю.
СИНТЕЗ И БИОЦИДНЫЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИТИТАНАТОВ КАЛИЯ 179

Ганцев А.В., Горская А.Р., Тангатаров Т.Р.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОСТРУКТУРИРОВАННОГО КОКСА МОДЕЛИРОВАНИЕМ В СРЕДЕ ASPEN PIMS 184

Протопопов А.В., Шумилова Е.Ю.
СИНТЕЗ АДИПИНАТОВ КРАХМАЛА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ 190

Цыганов А.Р., Гороховский А.В.
ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО СЛОИСТЫМИ ДВОЙНЫМИ ГИДРОКСИДАМИ 196

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ / PHYSICS AND MATHEMATICS

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.001

BIG DATA В АВИАЦИОННОЙ ОТРАСЛИ: ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Обзорная статья

Кротова Е.Л.[1], Андреев Р.А.[2], Андреева П.А.[3,] *

[1] ORCID: 0000-0001-5941-0504;
[2] ORCID: 0000-0001-8875-2802;
[3] ORCID: 0000-0001-9211-2322;
[1, 2, 3] Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

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

Аннотация

В настоящее время авиационная отрасль сталкивается с серьезными проблемами, связанными с безопасностью и производительностью. Ожидается, что эти проблемы могут быть решены с помощью применения технологий big data. В данной статье основное внимание уделяется влиянию применения технологий big data на авиационную отрасль, а также описывается возможность разработки авиационной информационной платформы big data. В статье анализируется взаимосвязь между применением технологий big data и развитием интеллектуальной авиационной отрасли. Кроме того, в статье рассматриваются основные идеи и область разработки авиационной информационной платформы big data. Исследование показывает, что применение технологий big data играет очень важную роль в развитии интеллектуальной авиационной отрасли, обеспечение авиационной безопасности может быть улучшено, а производительность воздушных судов значительно увеличена за счет разработки авиационной информационной платформы big data. В данной статье представлены подходы к планированию и реализации разработки авиационной информационной платформы big data, созданию глобального механизма сотрудничества в области применения технологий big data в авиации и развитии авиационных технологий big data.

Ключевые слова: big data, авиационная отрасль, гражданская авиация, обеспечение авиационной безопасности.

BIG DATA IN THE AVIATION INDUSTRY: CASES OF APPLICATION

Review article

Krotova E.L.[1], Andreev R.A.[2], Andreeva P.A.[3,] *

[1] ORCID: 0000-0001-5941-0504;
[2] ORCID: 0000-0001-8875-2802;
[3] ORCID: 0000-0001-9211-2322;
[1, 2, 3] Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

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

Abstract

Aviation industry currently faces significant safety and performance challenges. It is expected that these problems can be solved using big data technologies. This article focuses on the impact of big data technologies on aviation industry and describes the possibility of developing aviation big data information platform. Firstly, this article analyzes the relationship between big data technologies and the development of intellectual aviation industry. In addition, this article considers the main ideas and the area of development of aviation big data information platform and its systems. The study shows that big data technologies plays a very important role in the development of intellectual aviation industry, aviation safety can be improved, and aircraft performance can be significantly increased through the development of aviation big data information platform. This article presents approaches to the planning and implementation of the development of aviation big data information platform, the creation of global big data cooperation mechanism and the development of big data technologies in aviation industry.

Keywords: big data, aviation industry, civil aviation, aviation safety providing.

Современная авиационная отрасль сталкивается с двумя серьезными проблемами – проблемами безопасности [1], [2] и производительности [3]. В отличие от других транспортных отраслей, любые авиационные аварии приводят к значительной потере персонала и имущества. В частности, безопасность воздушного движения зависит не только от его собственного технического и эксплуатационного уровня, но и от внешней среды, особенно от суровых погодных условий. Около 45% аварий вызваны плохими погодными условиями в соответствии с расследованиями авиационных происшествий. Поэтому факторы, влияющие на безопасность авиационной отрасли, очень сложны.

Авиационная безопасность определяется техническими показателями аэрокосмической продукции, метеорологической средой [4] и управлением авиацией. Технические характеристики воздушных судов включают в себя многие области, такие как проектирование, производство, эксплуатация и техническое обслуживание, и это является основой для обеспечения авиационной безопасности. С момента создания первого воздушного судна их производительность постоянно увеличивается, в значительной степени обеспечивая авиационную безопасность. Тем не менее на данном этапе развития технологий всё еще случаются аварии из-за механических неисправностей. Поэтому дальнейшее совершенствование технических характеристик воздушных судов по-прежнему остается одной из важных технических проблем, которые необходимо решить в будущем авиационной отрасли.

Метеорологическая среда тесно связана с авиационной безопасностью. Почти половина всех происшествий происходит в плохих погодных условиях. Хотя люди не могут контролировать метеорологическую среду, научные метеорологические прогнозы могут эффективно уменьшить возникновение авиационных происшествий. Прогнозы

метеорологических полетных условий (МПУ) требуют наличия специализированных авиационных метеорологических центров. Для международных рейсов соответствующие страны и учреждения также обязаны обмениваться прогнозами метеорологических полетных условий. Поэтому одной из важных мер по повышению безопасности является то, как точно будет прогнозироваться аэронавигационная метеорологическая среда, и как будет работать обмен глобальными МПУ.

Ожидается, что вышеуказанные проблемы будут решаться лучше с применением технологий big data (далее – BD) [5] и искусственного интеллекта, так как технологии BD могут предоставлять многомерную, точную информацию в режиме реального времени. Таким образом, технологии BD будут эффективно улучшать технические характеристики и условия эксплуатации воздушных судов, помогут избегать различных неблагоприятных внешних погодных условий и уменьшать количество ошибок, связанных с человеческим фактором для того, чтобы повысить авиационную безопасность.

Еще одной серьезной проблемой является повышение эффективности авиационной отрасли. Высокие затраты всегда были ключевым фактором, сдерживающим развитие авиационной отрасли. В то же время имеются большие возможности для повышения производительности во всех аспектах, включая эксплуатацию и управление воздушными суднами. Во-вторых, авиационная отрасль сталкивается с конкуренцией со стороны других транспортных отраслей. Например, китайская индустрия гражданской авиации сталкивается с конкурентным давлением со стороны высокоскоростных железных дорог [6] и конкурентное давление также возрастает по мере того, как растет скорость высокоскоростных железных дорог. Таким образом, для повышения конкурентоспособности авиационной отрасли необходимо повысить эффективность работы и управления авиационной отраслью.

Авиационная отрасль имеет три характеристики: высокие риски [7], высокие затраты и сложность управления, и они совместно влияют на эффективность авиационной отрасли. Высокие риски авиационной отрасли проявляются в катастрофических последствиях в случае авиационного происшествия. Каждое такое событие наносит огромный экономический и имущественный ущерб авиакомпаниям. Поэтому необходимо в первую очередь начать с сокращения авиационных происшествий (особенно крупных авиационных происшествий) для улучшения продуктивности авиационной отрасли.

Авиационная отрасль является крайне дорогостоящей. В дополнение к огромной стоимости самого воздушного судна, расходы на топливо и техническое обслуживание воздушных судов также очень высоки. Многие авиакомпании обанкротились из-за чрезмерных расходов на топливо и техническое обслуживание. Поэтому, как сэкономить топливо и эксплуатационные расходы на воздушные суда, напрямую связано с эксплуатационными показателями авиакомпании.

Деятельность авиационной отрасли включает в себя полеты воздушных судов, содержание аэропортов, воздушное сообщение и обслуживание клиентов, и, таким образом, весь процесс координации и управления является крайне сложным. Если управление каждым из этих аспектов не будет выполняться должным образом, это не только значительно увеличит эксплуатационные расходы авиационной отрасли, но и, возможно, приведет к серьезным авиационным авариям. Поэтому, вопрос, как улучшить управленческие показатели авиационной отрасли, всегда был одной из важных проблем, которые авиакомпании пытаются решить.

Авиационная отрасль уже давно пытается решить вышеперечисленные проблемы, но не всегда это получается успешно. Данный вопрос требует кардинального изменения традиционного режима управления. BD и их возможности по обработке поступающей информации помогут эффективно справиться с поставленной задачей. BD могут не только предоставить достаточную информацию для авиационных операций, но и, что более важно, они помогут достичь синхронизации и взаимосвязи между всеми аспектами, связанными с авиационным управлением и безопасностью, что значительно повышает производительность авиационной отрасли.

В данной статье основное внимание уделяется изучению влияния BD на авиационную отрасль. Влияние BD на авиационную отрасль многогранно. В целом BD в основном разделена на два аспекта: технологии и управление. С технической точки зрения BD не только повлияют на конструкцию и повышение производительности воздушных судов, но и будут играть важную роль в мониторинге эксплуатации воздушных судов, профилактической диагностике неисправностей и техническом обслуживании. Управление авиационной отраслью напрямую влияет на показатели работы авиационной отрасли. BD будут играть большую роль во многих областях, таких как планирование маршрутов и управление воздушным движением, условиями полета, безопасностью и авиационным бизнесом.

Исследование показывает [8], что BD играют очень важную роль в развитии интеллектуальной авиационной отрасли. За счет строительства авиационной информационной платформы BD, а также использования многослойных методов анализа корреляции сети, безопасность и производительность воздушных судов могут быть значительно улучшены.

Авиационная информационная платформа BD включает в себя две основные подсистемы: BD авиационной отрасли и BD управления авиацией (см. рисунок 1).

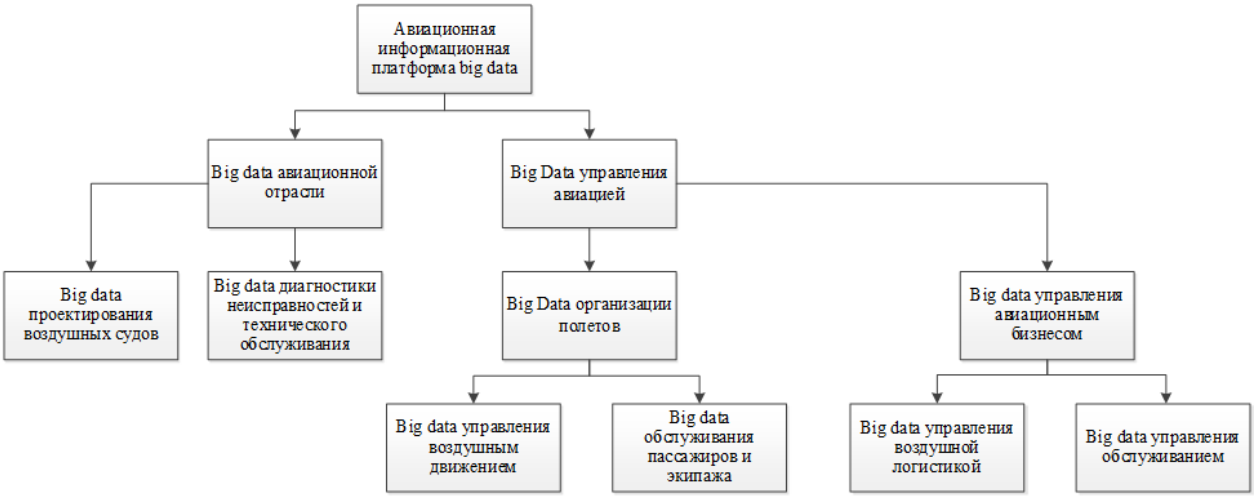


Рис. 1 – Состав авиационной информационной платформы BD

BD авиационной отрасли необходима для записи и отображения основных условий проектирования воздушных судов для обеспечения безопасности полетов и повышения их производительности, а также для анализа условий эксплуатации воздушных судов, диагностики неисправностей и технического обслуживания. Например, использование «digit twins» - виртуальные реплики физических активов, способные демонстрировать инженерам на земле работу двигателя, в то время как самолёт находится в воздухе. Чтобы сделать это возможным, инженеры устанавливают на этапе проектирования и производства двигателя тысячи точек сбора данных. Затем они используются для создания цифровой модели, которая отслеживает и контролирует двигатель в режиме реального времени, обеспечивая необходимую информацию на протяжении всего его жизненного цикла, например, температуру, давление и расход воздуха [9].

BD управления авиацией в первую очередь фиксирует и отражает состояние аэронавигационных операций и эксплуатационных характеристик, что помогает обеспечить безопасность воздушного движения и оптимизировать эксплуатационные характеристики воздушных судов. BD организации полетов в основном записывает и отражает основные состояния планирования маршрутов и управления воздушным движением, условиями полета и безопасностью. Роль BD в планировании маршрутов и управлении воздушным движением будет также становиться все более заметной в связи с увеличением числа аэрокосмических транспортных средств и все более ограниченными ресурсами воздушных маршрутов. BD управления авиационным бизнесом включает управление воздушной логистикой и управление обслуживанием, например, на базе платформы Alteryx Designer. С использованием технологий BD и данной платформы, у авиакомпании Southwest Airlines получилось снизить расходы на топливо [10]. Авиационная логистическая отрасль становится всё более сложной с развитием гражданской авиации. Поэтому вопрос о том, как обеспечить безопасность и улучшить эксплуатационные показатели, является практической темой, которая создает проблемы у авиационных компаний. Авиационные операции и управление обслуживанием связаны с основными бизнес-вопросами, это напрямую определяет прибыльность компаний воздушного транспорта из-за высокой стоимости авиаперевозок и сложности операционных и сервисных процессов. В этой области интеллектуальное управление и операции, основанные на BD, имеют значительные преимущества. Поэтому BD управления авиационным бизнесом играет важную роль во всей авиационной информационной платформе BD.

BD произведут революцию в развитии авиационной отрасли. Они будут играть большую роль в проектировании и повышении производительности воздушных судов, эксплуатации воздушных судов, техническом обслуживании [11], планировании маршрутов [12], а также в управлении воздушным движением, условиями полета, безопасностью, аэропортами, экипажем, воздушной логистикой, авиационными операциями и обслуживанием. Авиационной отрасли необходимо принять меры для ускорения внедрения технологий BD в авиационные системы. Но, важно понимать, что любое внедрение новых технологий – это определенные риски, а также финансовые затраты. Авиакомпании и производители авиационной техники должны прийти к консенсусу, что BD – следующий этап развития авиационной отрасли и поэтапно интегрировать технологии в процессы планирования, управления бизнесом и логистики.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Gillen D. Aviation security: Costing, pricing, finance and performance / D. Gillen, W.G. Morrison // Journal of Air Transport Management, 2015, 48, pp. 1-12. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2014.12.005.

2. Roberts D. Aviation Security and the Challenges the Industry Faces Providing Safe and Secure Transportation / D. Roberts // DigitalCommons Kennesaw State University, 2016 [Electronic resource] URL: https://clck.ru/UgC4W (accessed: 16.01.2021)

3. Gudmundsson S.V. Management emphasis and performance in the airline industry: an exploratory multilevel analysis / S.V. Gudmundsson // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2004, 40 (6), pp. 443-463. DOI: 10.1016/j.tre.2004.08.004.

4. Gultepe I. Aviation Meteorology: Observations and Models. Introduction / I. Gultepe, W.F. Feltz // Pure and Applied Geophysics, 2019, 176, pp. 1863-1867. DOI:10.1007/s00024-019-02188-2.

5. Gomathy C.K. The Impact of Big Data on Aviation / C.K. Gomathy, A.V. Sripadh Kaustthub, K. Banuprakash // National Conference on «Innovative Research on Robotics, Circuits & Technology» (IRCT'18). [Electronic resource] URL: https://www.researchgate.net/publication/335464492_THE_IMPACT_OF_BIG_DATA_ON_AVIATION (accessed: 09. 01.2021)

6. Yang H. Comparing China's urban systems in high-speed railway and airline networks / H. Yang, F. Dobruszkes, J. Wang et al. // Journal of Transport Geography, 2018, 68, pp. 233-244. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2018.03.015.

7. The top 10 risks the aviation industry is facing [Electronic resource] URL: https://blog.satair.com/ten-risk-in-aviation-industry (accessed: 17.01.2021)

8. Chung S.-H. Data science and analytics in aviation / S.-H. Chung, H.-L. Ma, M. Hansen et al. // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2020, 134. DOI: 10.1016/j.tre.2020.101837.

9. Digital twins for commercial aviation – how mros can reap the rewards [Electronic resource] URL: https://blog.ifs.com/2019/04/digital-twins-commercial-aviation (accessed: 19.04.2021)

10. Reducing Fuel Expenses at Southwest Airlines [Electronic resource] URL: https://community.alteryx.com/t5/Alteryx-Use-Cases/Reducing-Fuel-Expenses-at-Southwest-Airlines/ta-p/182867 (accessed: 19.04.2021)

11. Big data in aircraft maintenance [Electronic resource] URL: https://www.exsyn.com/blog/big-data-in-aircraft-maintenance (accessed: 21.01.2021)

12. Chen Y. Big Data Platform of Air Traffic Management / Y. Chen, L. Zhou, J. Yang et al. // IEEE International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology (ICCASIT), Kunming, China, 2019, pp. 137-141. DOI: 10.1109/ICCASIT48058.2019.8973192.

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.002

ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА ДИСПЕРСНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Научная статья

Капустина Г.Г.[1, *], Крамарь Е.И.[2], Леоненко Н.А.[3]

[1, 2] Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия;

[3] Хабаровский Федеральный исследовательский центр, Институт горного дела ДВО РАН, Хабаровск, Россия

* Корреспондирующий автор (g.kapustina[at]mail.ru)

Аннотация

В работе рассмотрена возможность использования лазерных технологий для переработки минерального сырья. Проанализировано взаимодействие лазерного излучения на природные минералогические образцы россыпного месторождения алюмосиликатной матрицы, содержащие в виде примесей частицы металлов, в том числе золото. В результате лазерного облучения на рассматриваемый материал установлено образование оплавленных объектов - конгломератов. Методом атомной и растровой электронной микроскопии установлено, что после лазерной обработки пробы представляли собой поверхностно микронеоднородные силикатные спеки, на поверхности которых выявлено формирование агломерированных кристаллических структур золота, размером от 300 нм до 30 микрон.

Ключевые слова: лазерное излучение, ультрадисперсное и коллоидно-ионное золото, лазерная агломерация, электронная и атомно-силовая микроскопия.

LASER PROCESSING OF DISPERSED MINERAL FORMATIONS

Research article

Kapustina G.G.[1, *], Kramar E.I.[2], Leonenko N.A.[3]

[1, 2] Pacific National University, Khabarovsk, Russia;

[3] Khabarovsk Federal Research Center, Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia

* Corresponding author (g.kapustina[at]mail.ru)

Abstract

The paper considers the possibility of using laser technologies for processing mineral raw materials. The article analyzes the effect of laser radiation on natural mineralogical samples of a placer deposit of an aluminosilicate matrix containing metal particles, including gold, in the form of impurities. As a result of laser irradiation on the material under study, the research establishes the formation of fused objects — conglomerates. Atomic and scanning electron microscopy reveals that after laser treatment, the samples were surface-microheterogeneous silicate specks, on the surface of which the formation of agglomerated crystal structures of gold, ranging in size from 300 nm to 30 microns, was revealed.

Keywords: laser radiation, ultrafine and colloidal-ion gold, laser agglomeration, electron and atomic force microscopy.

Введение

Ключевым моментом за полувековой период является интенсивное развитие научных исследований и внедрение готовых технологий для обеспечения высокоэффективного взаимодействия лазерного излучения с веществом, в том числе в области взаимодействия лазерного излучения с горным породами. В данной области исследования выполнялись с конца шестидесятых годов в США, СССР [1], [3], [4] и в ряде других стран. Большая часть таких исследований проводилась с лазерами мощностью 0.5-1.0 кВт.

С 1997 по 1999 гг. осуществлен двухлетний российско-американский проект по установлению взаимодействия лазерного излучения с горными породами, характерными для нефтеносных полей [5], с использованием инфракрасных CO и CO^2-лазерных установок. Проектом дана оценка возможности создания лазерных буровых установок. Вместе с учеными Горного университета штата Колорадо (Colorado School of Mines), Институтом технологии газа (Gas Technology Institute (GTI)) в реализации проекта участвовали и российский ученые [6] из Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (лаборатории газовых лазеров); а также Московского государственного горного университета [7], [8]. При этом для нефтяных месторождений - песчаника, известняка, сланца и гранита было экспериментально исследовано взаимодействие излучения импульсных CO и CO^2-лазеров.

Плотность энергии лазерного излучения на поверхности минеральных образцов составляла до 1 кДж/см^2, а интенсивность 10^7 Вт/см^2. С помощью метода высокоскоростной фотографии фиксировался процесс формирования лазерного факела на поверхности образцов, что и давало возможность измерять скорость распространения фронтов лазерного факела и установить различия процессов, протекающих в силикатных минеральных матрицах под действием излучения CO и CO^2- лазеров. Авторами [9] проанализированы инфракрасные спектры отражения и поглощения поверхности горных пород до и после лазерной обработки. В работе [10] обсуждаются возможности, которые могут быть использованы для разработки неклассических источников света с большим потоком фотонов, и их будущие перспективы в нелинейной оптике.

В последние годы при добыче полезных ископаемых все чаще в разработке используются месторождения вкрапленных и тонко вкрапленных руд, в которых доминирует количество мелких частиц. При извлечении этих частиц технологические потери значительно увеличиваются благодаря наличию мелких и ультрамелких выделений благородных металлов и тонких взаимных прорастаний парагенными минералами. Рассмотрев результаты исследований переработки золотосодержащих россыпей, было установлено, что потери золота наблюдаются в классах крупностью менее 0,5мм, и особенно это заметно в классах менее 0,25мм. При промывке песков потеря золота такой крупности вызывает образование техногенных россыпей. В качестве примера подобных золотосеребряных

месторождений можно назвать Карамкенское и Дукатское в Магаданской области, Многовершинное, Белая Гора, Дурминское и Хаканджинское в Хабаровском крае, Майское и Кумирное в Приморье, Покровское в Амурской области и многие другие. В связи с этим и возникает актуальность проблемы создания новой техники и технологии для уменьшения потерь при извлечении ультрадисперсного золота.

Несомненный интерес вызывают исследования, связанные с воздействием мощных энергетических потоков на природные дисперсные минеральные среды, так как такие исследования связаны в первую очередь с разработкой новых технологических решений переработки минерального сырья [11].

В работе представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных с помощью оптоволоконного иттербиевого источника лазерного излучения ЛС-06, с длиной волны 1060 нм, непрерывного действия на природные образцы, содержащие субмикронное и ультрадисперсное золото.

В непрозрачных средах взаимодействие света в виде отражения, рассеивания и поглощения происходит в очень тонком поверхностном слое. Известно, что под действием лазерного излучения твердые тела могут нагреваться до высокой температуры 10^{10} К, расплавляться и испаряться. Фазовое состояние твердого тела в начальный момент теплового воздействия не успевает измениться.

При взаимодействии световой волны с электронами вещества полученное тепло за счет теплопроводности распространяется во внутрь вещества. Если электроны в твердом теле частично связаны, то часть энергии электромагнитной волны отражается, а часть передается твердому телу, вызывая его нагревание [12].

Известно, что по-разному протекает взаимодействие света с металлами, полупроводниками и диэлектриками. Это можно объяснить разным строением этих веществ. Металлы состоят из кристаллической решетки, в узлах которой расположены положительные ионы. Все излучение, падающее на металлы, может отражаться или поглощаться в очень тонком поверхностном скин-слое (толщиной 10^{-5}...10^{-6} см). Поглощенная энергия у металлов распространяется только за счет электронной теплопроводности.

Диэлектрики и полупроводники характеризуются фононной теплопроводностью. В полупроводниках концентрация свободных электронов мала. Свойства полупроводников в зависимости от энергии поглощенных фотонов могут быть подобны либо со свойствами металлов, либо со свойствами диэлектриков. Если энергия поглощенных фотонов больше ширины запрещенной зоны, то наблюдается внутренний фотоэффект: электроны из валентной зоны переходят в зону проводимости. Чем выше интенсивность излучения, тем больше становится число свободных электронов, которые переносят энергию внутрь вещества и нагревают его.

Если энергия поглощенного фотона меньше ширины запрещенной зоны, то электроны остаются в валентной зоне и оптические свойства полупроводников схожи со свойствами диэлектриков.

В диэлектриках поглощение света можно объяснить колебательным движением кристаллической решетки, молекул и атомов. В начале лазерного облучения у диэлектриков с большой энергетической щелью за счет обратного тормозного рассеяния поглощение излучения отсутствует. В это время происходит генерация свободных электронов вследствие многофотонного механизма, а, следовательно, развивается процесс лавинной ионизации. Появление большого количества электронов в зоне проводимости приводит к металлизации поверхностного слоя диэлектрика, а значит, коэффициенты поглощения и отражения увеличиваются. При прекращении лазерного воздействия происходят оже-рекомбинация и рекомбинация (захват) электронов в связанное состояние, что приводит к постепенному возвращению диэлектрических свойств [13], [14].

В исследованиях импульсного лазерного воздействия на конденсированные среды важное место в последнее время заняла проблема возникновения упорядоченных поверхностных структур. Несфокусированный пучок импульсного лазера падает на поверхность поглощающего твердого тела; с поверхностью взаимодействует почти плоская световая волна и на освещенной поверхности возникает периодическая модуляция рельефа. Она образуется в процессе взаимодействия (длительность которого изменяется от 10^{-3} до 10^{1} с) и обычно сохраняется после его прекращения.

Методика эксперимента

Для определения режимов и параметров лазерного воздействия, определения скоростей перемещения продуктов в зону обработки были созданы площадка и многоячейковая подложка из электротехнического графита. При выборе лазерной установки для изучения процессов лазерной агломерации минеральных и техногенных продуктов, содержащих в своем составе ультрадисперсное и коллоидно-ионное золото, принималось во внимание достижение экономической эффективности при ее применении в реальных условиях. Этим условиям оптимально соответствовала лазерная установка на основе иттербиевого волоконного лазера ЛС–06.

Установка обладает следующими основными характеристиками: длина волны излучения 1070 нм; ширина линии излучения практически не зависит от мощности и варьируется в пределах 4 нм; поляризация излучения случайная; режим работы непрерывный; накачка светодиодная, либо непрерывная, либо импульсная с частотой модуляции до 5 кГц; ресурс работы светодиодов не менее 50 000 часов; мощность лазерного излучения изменяется программно через интерфейсы внешнего управления или с помощью дистанционного пульта в пределах 600 Вт; нестабильность выходной мощности не превышает 2% на ее максимальной величине; расходимость пучка на максимальной мощности излучения не превышает 2 мрад; длина выходного волоконного кабеля может изменяться в пределах от 8 до 20 м.

Для исследования подготовлены минералогические образцы алюмосиликатной матрицы с высоким содержанием глины, в состав которых входило золота различного класса крупности с месторождения «Кремень» ОАО старателей «Дальневосточные ресурсы» и с глубокозалегающей россыпи месторождения руч. Гайфон.

На поверхности исходного образца золота не наблюдалось. В результате эксперимента при мощности излучения равном 90 Вт получены ″спеки″ в виде цепочечных структур. Оптические исследования таких спеков выявило концентрирование золотин на отдельных участках. При увеличении мощности лазерного излучения от 120 Вт до 270 Вт образуются алюмосиликатные агломераты, внутри которых наблюдаются капельки золота. Размеры оплавленного

золота больше, чем в исходных образцах до лазерной обработки. Во всех проведенных экспериментах наблюдается образование самоорганизующихся структур золота на поверхности силикатной матрицы.

Исследования топографических свойств поверхности образцов после лазерной агломерации проведены методами атомно-силовой микроскопии с помощью атомно-силового микроскопа Интегра Прима (метод латеральных сил), с применением полуконтактных методов сканирования кантилевера типа NSG11 с минимальным разрешением 20-30 нм при резонансной частоте колебаний 226 кГц. Контактным методом АСМ изучены рельефы поверхностей, измерены отдельные структуры и положения гетерограниц, была измерена среднеарифметическая шероховатость золотин по всей поверхности сканирования, что позволило установить их кластерное строение. Топографические изображения указывают на различие кластеров по размерам и по форме, которая может быть как почти правильной сферической, так и эллипсоидальной (см. рисунок 1). Установлено, что характерные размеры кластеров колеблются от 10 до 400 нм.

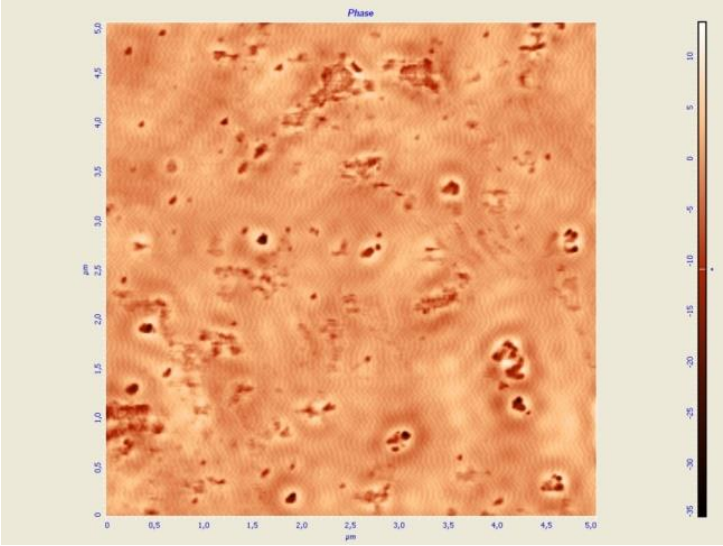


Рис. 1 – Фазово-контрастное изображение алюмосиликатного спека, полученное контактным методом АСМ

Электронная микроскопия проведенная с помощью растрового электронного микроскопа “LEO EVO 40HV”(Карл Цейс, Германия) с использованием энергодисперсионного анализатора, позволила выявить фазовую неоднородность образцов. Наномасштабность данных о качественном и количественном распределении химических элементов в исследуемых минералогических объектах измерений обеспечивалась локализацией зондирующего электронного пучка в область диаметром ~ 20 – 30 нм с глубиной проникновения электронного пучка 1 мкм. Чувствительность составляла 0.1%. Исследованиями фазовой микронеоднородности методом растровой электронной микроскопии установлено, что в исходных объектах ионное и коллоидное золото имеет аморфные формы, размером менее 1 микрона, а после лазерной обработки пробы представляли собой поверхностно микронеоднородные силикатные спеки, на поверхности которых выявлено формирование агломерированных кристаллических структур золота, размером от 300 нм до 30 микрон и более (см. рисунок 2) [15], [16], [17].

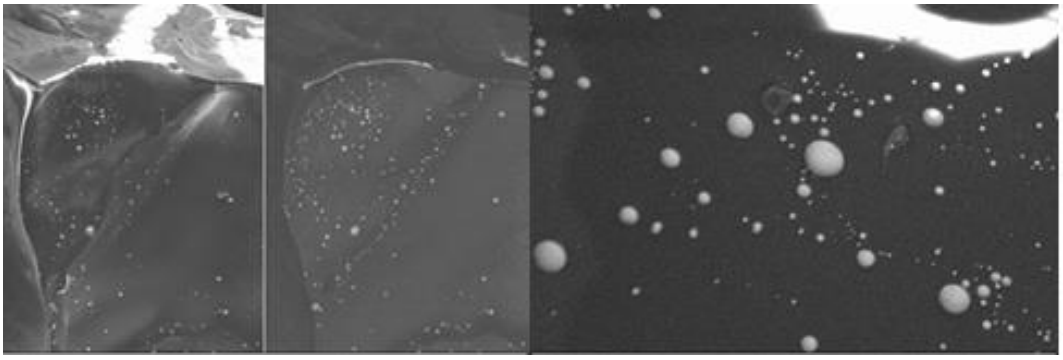


Рис. 2 – Фазово-контрастное изображение алюмосиликатного спека, полученное методом растровой электронной микроскопией

Заключение

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы: при лазерном плавлении техногенных образцов наблюдается поверхностно неоднородные минеральные структуры, на поверхности которых наблюдаются скопление атомов золота.

Условия самоорганизации золота можно объяснить тем, что минеральные образцы являются открытой, неравновесной и нелинейной системой. Наблюдаемые изменения формы, структуры и состава минеральных золотосодержащих ассоциаций после лазерной обработки свидетельствует в пользу практической значимости способа. На этой основе предложен способ укрупнения частиц благородных металлов, не извлекаемых традиционными методами. Данные исследования подтверждают возможность интегрирования источников лазерного излучения в процессы переработки минерального сырья [18], [19].

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Мухамедгалиева А.Ф. Исследование воздействия излучения непрерывно действующего CO2-лазера на минералы группы кварца и кварцсодержащие горные породы / А.Ф. Мухамедгалиева, А.М. Бондарь, Т.А. Зиборова и др. // Квант. электроника. 1975. Т. 2, № 1. С. 37-41.

2. Мухамедгалиева А.Ф. Эффект «деформации» спектра инфракрасного поглощения микроклина (KA1Sí308) излучением CO2 лазера / А.Ф. Мухамедгалиева, А.М. Бондарь, Т.А. Зиборова // Журнал техни-ческой физики, 1976, т. 46, вып. 4. С. 873-874.

3. Мухамедгалиева А.Ф. Лазерно-стимулированные реакции на поверхности кварца и некоторых минералов / А.Ф. Мухамедгалиева, А.М. Бондарь // Поверхность, Физика, химия, механика. 1983, № 5. С. 125-129.

4. Мухамедгалиева А.Ф. Структурные превращения на поверхности синтетических и природных силикатов, инициируемые инфракрасным лазерным излучением : дис. докт. физ.-мат. наук : 01.04.21 :защищена 2002 г. / Мухамедгалиева Анель Фазуловна. – М. : 2002. – 183 с.

5. Graves R. Metal. Proc / R. Graves // SPIE 3885 159 (2000)

6. Ионин А.А. Мощные системы инфракрасных и ультрафиолетовых лазеров и их приме-нение / А.А. Ионин // Успехи физических наук. 2012. Т. 182, № 7. С. 773-781.

7. Graves R. Interaction of pulsed CO and CO2 – laser radiation with rocks / R. Graves, A.A. Ionin, Yu.M. Klimachev et al. // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2000. Vol. 4065. C. 602.

8. Брайен Д. Взаимодействие излучения импульсных CO и CO2-лазеров с горными породами, характерными для нефтяных месторождений. II. Газодинамические процессы при лазерно-индуцированной абляции и трансформация ИК-спектров поглощения и отражения горных пород / Д. Брайен, Р.Грейвс, В.Д. Зворыкин, и др. // Физика и химия обработки материалов. 2005. № 1. С. 47-55.

9. Мухамедгалиева А.Ф. Особенности лазерной абляции кварца, силикатных минералов и горных пород, индуцированной излучением импульсных CO и CO2-лазеров / А.Ф. Мухамедгалиева, А.М. Бондарь, А.А. Ионин и др. // Физика и химия обработки материалов. 2008. № 4. С. 26-30.

10. Lamprou T. A perspective on high photon flux nonclassical light and applications in nonlinear optics / T. Lamprou, Liontos, N.C. Papadakis, P. Tzallas // High power laser science and engineering. 2020. V. 8. № articl e42, DOI: 10.1017/hpl.2020.44

11. Перспективные геотехнологии / Отв. Редактор Н.П. Юшкин. – СПб.: Наука, 2010. – 376 с.

12. Лазерная техника и технология. Кн. 1. Физические основы технологических лазеров: Уч. пособ. для вузов / Голубев В.С., Лебедев Ф.В. Под ред. Григорьянца А.Г. М.: Высш. шк., 1987. 191 с.

13. Булгаков Л.В. Синтез наноразмерных материалов при воздействии мощных потоков энергии на вещество / Л.В. Булгаков, Н.М. Булгакова, И.М. Бураков и др. // Новосибирск: институт теплофизики СО РАН, 2009, 462 с.

14. Ванина Е.А. Исследование процессов лазерной агломерации ультрадисперсного и коллоидно-ионного золота. / Е.А. Ванина А.А. Гальцов, Н.А. Леоненко и др. // Перспективные материалы. Спецвыпуск (13) . 2011. Материалы XI Российско-Китайского Симпозиума ”Новые материалы и технологии” т.1 10-14 октября 2011 г. – Санкт Петербург: Интерконтакт Наука, Москва, Россия. С. 144-148.

15. Капустина Г.Г. физические методы исследования воздействия лазерного излучения на ультрадисперсные минеральные среды / Г.Г. Капустина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 4. С. 385-389.

16. Современные проблемы регионального развития: тезисы VII Всерос. науч. конф. Биробиджан, 9-11 октября 2018 г. / Под ред. Е.Я. Фрисмана. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН – ФГБОУ ВО «ПГУ им. Шолом-Алейхема», 2018. 459 с.

17. Vanina E.A. Simulation of nonlinear effects at laser modification of the surface minerals with gold / E.A. Vanina, E.M. Veselova, N.A. Leonenko // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2016. Vol. 10176. P. 101761V. DOI: 10.1117/12.2268309.

18. Пат. 2413779 Российская Федерация, МПК C 22 B 11/02, B 22 F 1/00. Способ извлечения дисперсного золота из золотосодержащего высокоглинистого минерального сырья / Н.А. Леоненко, А.П. Кузьменко, И.В. Силютин и др.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела ДВО РАН, Тихоокеанский государственный университет. № 2010113683/02; заявл. 07.04.10; опубл. 10.03.11. Бюл. № 7.

19. Пат. 2541248 Российская Федерация, МПК C 22 B 11/02, C 22 B 9/22. Способ выделения ультрадисперсных и коллоидно-ионных благородных включений из минерального сырья и техногенных продуктов и установка для его осуществления / А.П. Кузьменко, И.В. Храпов, Н.А. Кузьменко и др. заявитель и патентообладатель ФГБОУВПО «Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ) – Заявка 2012130446/02 заявл. 17.07.2012; опубл. 10.02.2015 Бюл. № 4

Список литературы на английском языке / References in English

1. Mukhamedgalieva, A. F. Issledovanie vozdejjstvija izluchenija nepreryvno dejjstvujushhego SO2-lazera na mineraly gruppy kvarca i kvarcsoderzhashhie gornye porody [An Investigation of the Effect of the Radiation of a Continuously Operating CO2 Laser on Quartz Group Minerals and Quartz-Containing Rocks] / A. F. Mukhamedgalieva, A. M. Bondar, T. A. Ziborova et al. // Kvant. elektronika [Quantum Electronics. 1975. Vol. 2, No. 1, pp. 37-41 [in Russian]

2. Mukhamedgalieva, A. F. Ehffekt «deformacii» spektra infrakrasnogo pogloshhenija mikroklina (KA1Sí308) izlucheniem SO2 lazera. [The Effect of "Deformation" of the Spectrum of Infrared Absorption of Microcline (ka1s3308) By CO2 Laser Radiation] / A. F. Mukhamedgalieva, A. M. Bondar, T. A. Ziborova // Zhurnal tekhnicheskojj fiziki [Journal of Technical Physics], 1976, vol. 46, issue 4, pp. 873-874 [in Russian]

3. Mukhamedgalieva, A. F. Lazerno-stimulirovannye reakcii na poverkhnosti kvarca i nekotorykh mineralov [Laser-Stimulated Reactions on the Surface of Quartz and Some Minerals] / A. F. Mukhamedgalieva, A. M. Bondar // Poverkhnost', Fizika, khimija, mekhanika [Surface, Physics, Chemistry, Mechanics] // 1983, № 5, pp. 125-129 [in Russian]

4. Mukhamedgalieva, A. F. Strukturnye prevrashhenija na poverkhnosti cinteticheskikh i prirodnykh silikatov, iniciiruemye infrakrasnym lazernym izlucheniem [Structural Transformations on the Surface of Synthetic and Natural Silicates Initiated by Infrared Laser Radiation]: Doctor's Thesis. Physical and Mathematical Sciences : 01.04.21: defence of the thesis 2002 / Mukhamedgalieva Anel Fazulovna. - M.: 2002. - 183 p. [in Russian]

5. Graves R. Metal. Proc / R. Graves // SPIE 3885 159 (2000)

6. Ionin, A. A. Moshhnye sistemy infrakrasnykh i ul'trafioletovykh lazerov i ikh prime-nenie [Powerful Systems of Infrared and Ultraviolet Lasers and Their Application] / A. A. Ionin // Uspekhi fizicheskikh nauk [Physics-Uspekhi]. 2012. Vol. 182, No. 7, pp. 773-781 [in Russian]

7. Graves R. Interaction of pulsed CO and CO2 – laser radiation with rocks / R. Graves, A.A. Ionin, Yu.M. Klimachev et al. // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2000. Vol. 4065. C. 602.

8. O'Brien, D. Vzaimodejjstvie izluchenija impul'snykh SO i SO2-lazerov s gornymi porodami, kharakternymi dlja neftjanykh mestorozhdenijj. II. Gazodinamicheskie processy pri lazerno-inducirovannojj abljacii i transformacija IK-spektrov pogloshhenija i otrazhenija gornykh porod. [Interaction of Radiation From Pulsed Co and CO2 Lasers With Rocks Typical Of Oil Fields. II. Gas-Dynamic Processes in Laser-Induced Ablation and Transformation of IR Absorption and Reflection Spectra of Rocks] / D. O'Brien, R. Graves, V. D. Zvorykin et al. // Fizika i khimija obrabotki materialov [Physics and Chemistry of Materials Processing]. 2005. № 1, pp. 47-55 [in Russian]

9. Mukhamedgalieva, A. F. Osobennosti lazernojj abljacii kvarca, silikatnykh mineralov i gornykh porod, inducirovannojj izlucheniem impul'snykh SO i SO2-lazerov [Features of Laser Ablation of Quartz, Silicate Minerals and Rocks Induced by Radiation of Pulsed Co and CO2 Lasers] / A. F. Mukhamedgalieva, A. M. Bondar, A. A. Ionin et al. // Fizika i khimija obrabotki materialov [Physics and Chemistry of Materials Processing]. 2008. № 4, pp. 26-30 [in Russian]

10. Lamprou T. A perspective on high photon flux nonclassical light and applications in nonlinear optics / T. Lamprou, Liontos, N.C. Papadakis, P. Tzallas // High power laser science and engineering. 2020. V. 8. № articl e42, DOI: 10.1017/hpl.2020.44

11. Perspektivnye geotekhnologii [Perspective Geotechnologies] / Edited by N. P. Yushkin. - St. Petersburg: Nauka, 2010. - 376 p. [in Russian]

12. Lazernaja tekhnika i tekhnologija. Kn. 1. Fizicheskie osnovy tekhnologicheskikh lazerov: Uch. posob. dlja vuzov [Laser Technology and Technology. Book 1. Physical Bases of Technological Lasers: A Teaching Manual For Universities] / V. S. Golubev, F. V. Lebedev Edited by A. G. Grigoryants Moscow: Higher School of Economics, 1987. 191 p. [in Russian]

13. Bulgakov L. V. Sintez nanorazmernykh materialov pri vozdejjstvii moshhnykh potokov ehnergii na veshhestvo [Synthesis of Nanoscale Materials Under the Influence of Powerful Energy Flows on Matter] / L. V. Bulgakov, N. M. Bulgakova, I. M. Burakov et al. // Novosibirsk: Institute of Thermophysics SB RAS, 2009, 462 p. [in Russian]

14. Vanina E. A. Issledovanie processov lazernojj aglomeracii ul'tradispersnogo i kolloidno-ionnogo zolota [Investigation of Laser Agglomeration Processes of Ultrafine and Colloidal-Ion Gold] / E. A. Vanina, A. A. Galtsov, N. A. Leonenko et al. // Perspektivnye materialy. Specvypusk (13) . 2011. Materialy XI Rossijjsko-Kitajjskogo Simpoziuma ”Novye materialy i tekhnologii” t.1 10-14 oktjabrja 2011 g. [Perspective Materials. Special Issue (13). 2011. Proceedings of the XI Russian-Chinese Symposium "New Materials and Technologies" Vol. 1 October 10-14, 2011-Saint Petersburg]: Interkontakt Nauka, Moscow, Russia, pp. 144-148 [in Russian]

15. Kapustina G. G. fizicheskie metody issledovanija vozdejjstvija lazernogo izluchenija na ul'tradispersnye mineral'nye sredy [Physical Methods of Investigation of the Effect of Laser Radiation on Ultradisperse Mineral Media] / G. G. Kapustina // Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal) [Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)]. 2012. № 4, pp. 385-389 [in Russian]

16. Sovremennye problemy regional'nogo razvitija [Modern Problems of Regional Development] [Electronic resource]: Theses of the VII All-Russian Scientific Conference. Birobidzhan, October 9-11, 2018 / Edited by E. Ya. Frisman. Birobidzhan: Sholem Aleichem Amur State University, 2018. 459 p. [in Russian]

17. Vanina E.A. Simulation of nonlinear effects at laser modification of the surface minerals with gold / E.A. Vanina, E.M. Veselova, N.A. Leonenko // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2016. Vol. 10176. P. 101761V. DOI: 10.1117/12.2268309.

18. Pat. 2413779 Russian Federation, IPC C 22 B 11/02, B 22 F 1/00. Sposob izvlechenija dispersnogo zolota iz zolotosoderzhashhego vysokoglinistogo mineral'nogo syr'ja [Method for Extracting Dispersed Gold From Gold-Containing High-Clay Mineral Raw Materials] / Leonenko N. A., Kuzmenko A. P., Silyutin I. V., Rasskazov I. Yu., Sekisov G. V., Gurman M. A., Kapustina G. G., Shvets N. L.; applicant and patent holder: Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Pacific State University. No. 2010113683/02; application 07.04.10; publ. 10.03.11. Cert. No. 7 [in Russian]

19. Pat. 2541248 Russian Federation, IPC From 22 To 11/02, From 22 To 9/22. Sposob vydelenija ul'tradispersnykh i kolloidno-ionnykh blagorodnykh vkljuchenijj iz mineral'nogo syr'ja i tekhnogennykh produktov i ustanovka dlja ego osushhestvlenija [A Method for the Separation of Ultrafine and Colloidal-Ionic Noble Inclusions From Mineral Raw Materials and Man-Made Products and an Installation for Its Implementation] / Kuzmenko A. P., Khrapov I. V., Kuzmenko N. A., Leonenko N. A.; applicant and patent holder: the South-Western State University (SWSU) - Application 2012130446/02 application 17.07.2012; publ. 10.02.2015 Cert. No. 4 [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.003

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВУХСЕГМЕНТНОЙ БАЛКИ С УЧЕТОМ АБСОЛЮТНО ЖЕСТКИХ ЗАКРЕПЛЕНИЙ

Научная статья

Сафина Г.Ф.*
ORCID: 0000-0002-7326-0896,
Нефтекамский филиал Башкирского государственного университета, Нефтекамск, Россия

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

Аннотация

Рассмотрена обратная задача диагностирования жесткостных параметров изгибных колебаний двухсегментной балки по известным значениям частот ее колебаний. Показана единственность решения обратной задачи, сформулирована и доказана соответствующая теорема. Найден алгоритм решения задачи, подтверждающий единственность восстановления жесткостных параметров опор балки, который применим и для случая абсолютно жестких закреплений краев двухсегментной балки. Алгоритм решения подтвержден численными примерами.

Ключевые слова: двухсегментная балка, частоты колебаний, обратная спектральная задача, диагностирование параметров.

RESTORATION OF THE STIFFNESS PARAMETERS OF A TWO-SEGMENT BEAM, TAKING INTO ACCOUNT RIGID ATTACHMENT

Research article

Safina G.F.*
ORCID: 0000-0002-7326-0896,
Neftekamsk Branch of Bashkir State University, Neftekamsk, Russia

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

Abstract

The current study examines the inverse problem of diagnosing the stiffness parameters of flexural vibrations of a two-segment beam from known values of its vibration frequencies. The author of the study shows the uniqueness of the solution of the inverse problem as well as formulates and proves the corresponding theorem. The article introduces an algorithm for solving the problem that confirms the uniqueness of restoring the stiffness parameters of beam bearings, which is also applicable for the case of rigid attachment of the edges of a two-segment beam. The solution algorithm is confirmed by numerical examples.

Keywords: two-segment beam, oscillation frequencies, inverse spectral problem, parameter diagnostics.

Исследуя вибрационные процессы механических систем, технических конструкций и их составляющих часто можно столкнуться с поперечными колебаниями балок. Прямые и обратные спектральные задачи по балкам хорошо известны еще из общей теории колебаний, например, [1], [3]. Производимые расчеты исследований учитывают разные виды балок: однородные, неоднородные, деформированные, сегментные, с трещинами, несущие, под действием переменных сил, подвижных нагрузок и т.д.

Математические модели колебаний сегментных балок встречаются также во многих работах, например [4], [5]. В монографии [5] приведены численные примеры решения коэффициентных обратных задач балок (в том числе сегментных) на основе сочетания граничных интегральных уравнений и метода конечных элементов. Прямой и обратной задачам двухсегментной балки посвящены также статьи [6], [7]. В представленной же работе в продолжение исследований доказана единственность решения обратной задачи для двухсегментной балки и дан метод восстановления граничных условий технологиями линейной и векторной алгебры. Кроме того, приведенный метод учитывает возможность абсолютно жестких закреплений концов сегментной балки.

Для дальнейшего изложения остановимся кратко на решении прямой задачи и получении векового уравнения (с учетом как условий опор, так и условий сопряжения сегментов балки). Итак, динамическая модель двухсегментной балки представлена на рисунке 1. Сегменты балки с длинами l_1 и l_2 ($l_1 + l_2 = L$) имеют различные жёсткости EI_1 и EI_2, образующиеся за счет поворота на угол φ в месте сопряжения.

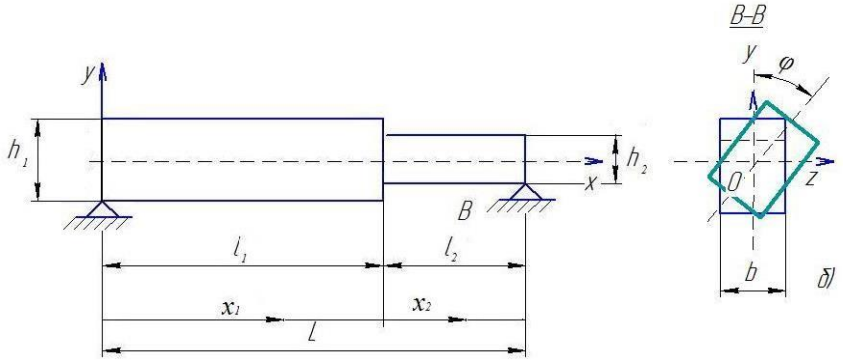


Рис. 1 – Модель двухсегментной балки

В соответствии с расчетной схемой уравнения изгибных колебаний такой балки имеют вид [1], [2], [3]:

$$EI_i \frac{\partial^4 w_i}{\partial x_i^4} + \rho A_i \frac{\partial^2 w_i}{\partial t^2} = 0, \ (i = 1, \ 2). \tag{1}$$

В (1): $w_i = w_i(x_i, t)$ – прогиб i-го сегмента (x_i – локальные координаты, t – время), ρ – погонная плотность материала балки, $A_i = b_i h_i$ – площадь поперечного сечения каждого сегмента ($A_1 = A_2$), $I_i = \frac{bh_i^3}{12}$ – момент инерции поперечного сечения балки, причем $I_2 = \alpha^4 I_1$, где $\alpha^4 = \cos^2(\varphi) + \left(\frac{b}{h}\right)^2 \sin^2(\varphi)$.

Введение безразмерных параметров: $\overline{w}_i = \frac{w_i}{L}$, $\xi_i = \frac{x_i}{L}$, $\tau = \omega_0 t$, $\omega_0 = \frac{1}{L^2}\sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$, $\bar{l}_i = \frac{l_i}{L}$ приводит к уравнениям

$$\frac{\partial^4 \overline{w}_1}{\partial \xi_1^4} + \frac{\partial^2 \overline{w}_1}{\partial \tau^2} = 0, \ \frac{\partial^4 \overline{w}_2}{\partial \xi_2^4} + \frac{1}{\alpha^4}\frac{\partial^2 \overline{w}_1}{\partial \tau^2} = 0. \tag{2}$$

Представление прогибов сегментов балки в виде $\overline{w}_i = W_i(\xi_i) e^{i\overline{\omega}\tau}$ $(i = 1, \ 2).$, в которых $\overline{\omega} = \frac{\omega}{\omega_0}$ – безразмерная собственная частота колебаний, приводит уравнения (2) к видам:

$$W_1^{IV} - k^4 W_1 = 0, \ W_2^{IV} - \left(\frac{k}{\alpha}\right)^4 W_2 = 0 \tag{3}$$

в которых $k^4 = \frac{\omega^2 \rho A L^4}{EI}$ – волновое число.

Решения (3) для каждого сегмента приняты в стандартном виде с амплитудами колебаний D_{mn} $(m = 1, 2; \ n = 1, 2, 3, 4)$:

$$W_1 = D_{11}\cos k\xi_1 + D_{12}\sin k\xi_1 + D_{13} ch k\xi_1 + D_{14} sh k\xi_1; \tag{4}$$

$$W_2 = D_{21}\cos\frac{k}{\alpha}\xi_2 + D_{22}\sin\frac{k}{\alpha}\xi_2 + D_{23} ch\frac{k}{\alpha}\xi_2 + D_{24} sh\frac{k}{\alpha}\xi_2. \tag{5}$$

В соответствие с (4) и (5) для каждого сегмента определены повороты поперечного сечения сегментов, изгибающие моменты и поперечные силы, необходимые для описаний условий сопряжения:

$$W_1(\bar{l}_1) = W_2(0); \ W_1'(\bar{l}_1) = W_2'(0); \tag{6}$$

$$I_1 W_1''(\bar{l}_1) = I_2 W_2''(0); \ I_1 W_1'''(\bar{l}_1) = I_2 W_2'''(0), \tag{7}$$

и граничных условий:

$$U_1(\xi_1) = W_1(0) = 0; \ U_2(\xi_1) = EI\, W_1''(0) - c_1 W_1'(0) = 0; \tag{8}$$

$$U_3(\xi_2) = W_2(\bar{l}_2) = 0; \ U_4(\xi_2) = EI_2\, W_2''(\bar{l}_2) + c_2 W_2'(\bar{l}_2) = 0 \tag{9}$$

в виде шарнирных опор с пружинами кручения с жесткостями c_1 и c_2. Подстановка решений (4), (5) в условия сопряжения (6), (7) и в краевые условия (8), (9) дает восемь однородных алгебраических уравнений относительно констант интегрирования D_{mn} $(m = 1, 2; \ n = 1, 2, 3, 4)$. С учетом нетривиального решения этой системы получено вековое уравнение прямой спектральной задачи [7]:

$$\Delta(k) = f_1(k)C_1 + f_2(k)C_2 + f_3(k)C_1C_2 + f_4(k) = 0, \tag{10}$$

с безразмерными параметрами $C_1 = \frac{c_1\bar{l}_1^3}{EI_1}$, $C_2 = \frac{c_2\bar{l}_2^3}{EI_2}$, функциями $f_j(k)$ $(j = 1, 2, 3, 4)$ из сумм и произведений тригонометрических и гиперболических функций от аргументов $k\bar{l}_1$ и $k\bar{l}_2$.

С учетом математической модели (10) и программной реализации алгоритма решения в математическом пакете Maple найдены значения частот изгибных колебаний двухсегментной балки. Поставлена и решена также обратная задача определения жесткостных параметров закреплений по известным трем частотам колебаний.

Этот метод решения обратной задачи не принимает во внимание случай, когда края балки закреплены абсолютно жёстко, то есть, когда $C_1 = \infty$, $C_2 = \infty$ (или $c_1 = \infty$; $c_2 = \infty$). В связи с этим рассмотрим другой подход к решению обратной задачи, который позволит восстановить и возможное абсолютно жесткое закрепление ее краев.

Для этого граничные условия задачи (3), (8), (9) представим в виде:

$$U_1(\xi_1) = W_1(0) = 0;\ U_2(\xi_1) = a_1W_1''(0) - a_2W_1'(0) = 0; \tag{11}$$

$$U_3(\xi_2) = W_2(\bar{l}_2) = 0;\ U_4(\xi_2) = b_1W_2''(\bar{l}_2) + b_2W_2'(\bar{l}_2) = 0 \tag{12}$$

в котором

$$C_1 = \frac{c_1\bar{l}_1^3}{EI_1} = \frac{a_2}{a_1};\ C_2 = \frac{c_2\bar{l}_2^3}{EI_2} = \frac{b_2}{b_1};\ (a_1,\ a_2,\ b_1,\ b_2 \in R). \tag{13}$$

Составим матрицу A из коэффициентов форм $U_2(\xi_1)$ и $U_4(\xi_2)$ краевых условий (11), (12):

$$A = \begin{Vmatrix} a_1 & -a_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_1 & b_2 \end{Vmatrix},$$

а также ненулевые миноры M_{ij} второго порядка этой матрицы:

$$M_{13} = a_1b_1,\ M_{14} = a_1b_2,\ M_{23} = -a_2b_1,\ M_{24} = -a_2b_2 \tag{14}$$

Тогда обратную задачу восстановления жесткостей шарнирных опор двухсегментной балки смоделируем в виде нахождения матрицы A (по ее минорам), что можно свести к определению оболочки $\langle \vec{a}, \vec{b} \rangle$ на векторах $\vec{a} = (a_1,\ -a_2,\ 0,\ 0)^T$ и $\vec{b} = (0,\ 0,\ b_1,\ b_2)^T$.

Для исследования существования и единственности такого решения наряду с нашей прямой задачей (3), (11), (12) рассмотрим задачу с уравнениями (3) и граничными условиями

$$U_1(\xi_1) = W_1(0) = 0;\ U_2(\xi_1) = \tilde{a}_1W_1''(0) - \tilde{a}_2W_1'(0) = 0; \tag{15}$$

$$U_3(\xi_2) = W_2(\bar{l}_2) = 0;\ U_4(\xi_2) = \tilde{b}_1W_2''(\bar{l}_2) + \tilde{b}_2W_2'(\bar{l}_2) = 0 \tag{16}$$

Оболочку на векторах $\vec{a}' = (\tilde{a}_1, -\tilde{a}_2, 0, 0)^T$ и $\vec{b}' = (0, 0, \tilde{b}_1, \tilde{b}_2)^T$ из коэффициентов (15), (16) рассмотрим в виде $\langle \vec{a}', \vec{b}' \rangle$. Докажем теперь следующую теорему.

Теорема

Если выполняются условия:

$$a_1^2 + a_2^2 \neq 0;\ b_1^2 + b_2^2 \neq 0,\ \tilde{a}_1^2 + \tilde{a}_2^2 \neq 0;\ \tilde{b}_1^2 + \tilde{b}_2^2 \neq 0 \tag{17}$$

и нетривиальные собственные значения k_i и $\tilde{k}_i$ задач (3), (11), (12) и (1), (15), (16), соответственно, равны учетом их кратностей, то равны и оболочки $\left\langle \vec{a}, \vec{b} \right\rangle$ и $\left\langle \vec{a}', \vec{b}' \right\rangle$.

Доказательство

Вековое уравнение граничной задачи (3), (11) (12) найдем стандартными преобразованиями, подставляя решения (4), (5) в граничные условия (11), (12) и условия сопряжения сегментов (6), (7). Получим систему уравнений:

$$\begin{cases} D_{11} + D_{13} = 0; \\ -k^2 a_1 D_{11} - k^2 a_2 D_{12} + k^2 a_1 D_{13} + k^2 a_2 D_{14} = 0; \\ \cos\left(\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2\right) D_{21} + \sin\left(\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2\right) D_{22} + ch\left(\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2\right) D_{23} + sh\left(\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2\right) D_{24} = 0; \\ \left(-b_1\left(\frac{k}{\alpha}\right)^2 \cos\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2 - b_2\frac{k}{\alpha}\sin\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2\right) D_{21} + \left(-b_1\left(\frac{k}{\alpha}\right)^2 \sin\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2 + b_2\frac{k}{\alpha}\cos\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2\right) D_{22} + \\ + \left(b_1\left(\frac{k}{\alpha}\right)^2 ch\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2 + b_2\frac{k}{\alpha} sh\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2\right) D_{23} + \left(b_1\left(\frac{k}{\alpha}\right)^2 sh\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2 + b_2\frac{k}{\alpha} ch\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2\right) D_{24} = 0; \\ \cos(k\bar{l}_1) D_{11} + \sin(k\bar{l}_1) D_{12} + ch(k\bar{l}_1) D_{13} + sh(k\bar{l}_1) D_{14} - D_{21} - D_{23} = 0; \\ -\sin(k\bar{l}_1) D_{11} + \cos(k\bar{l}_1) D_{12} + sh(k\bar{l}_1) D_{13} + ch(k\bar{l}_1) D_{14} - \frac{1}{\alpha} D_{22} - \frac{1}{\alpha} D_{24} = 0; \\ -\cos(k\bar{l}_1) D_{11} - \sin(k\bar{l}_1) D_{12} + ch(k\bar{l}_1) D_{13} + sh(k\bar{l}_1) D_{14} + \alpha^2 D_{21} - \alpha^2 D_{23} = 0; \\ \sin(k\bar{l}_1) D_{11} - \cos(k\bar{l}_1) D_{12} + sh(k\bar{l}_1) D_{13} + ch(k\bar{l}_1) D_{14} + \alpha D_{22} - \alpha D_{24} = 0. \end{cases}$$

В итоге вековое уравнение получим в виде определителя 8-го порядка:

$$\Delta(k_i) = \begin{Vmatrix} S_1 & S_2 \\ S_3 & S_4 \end{Vmatrix} = 0, \text{ в котором } S_1 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ -k^2 a_1 & -k a_2 & k^2 a_1 & k a_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix};$$

$$S_2 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cos\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2 & \sin\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2 & ch\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2 & sh\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2 \\ -b_1\left(\frac{k}{\alpha}\right)^2 \cos\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2 - & -b_1\left(\frac{k}{\alpha}\right)^2 \sin\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2 + & b_1\left(\frac{k}{\alpha}\right)^2 ch\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2 + & b_1\left(\frac{k}{\alpha}\right)^2 sh\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2 + \\ -b_2\frac{k}{\alpha}\sin\frac{k}{\alpha}\bar{l} & +b_2\frac{k}{\alpha}\cos\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2 & +b_2\frac{k}{\alpha} sh\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2 & +b_2\frac{k}{\alpha} ch\frac{k}{\alpha}\bar{l}_2 \end{vmatrix};$$

$$S_3 = \begin{vmatrix} \cos(k\bar{l}_1) & \sin(k\bar{l}_1) & ch(k\bar{l}_1) & sh(k\bar{l}_1) \\ -\sin(k\bar{l}_1) & \cos(k\bar{l}_1) & sh(k\bar{l}_1) & ch(k\bar{l}_1) \\ -\cos(k\bar{l}_1) & -\sin(k\bar{l}_1) & ch(k\bar{l}_1) & sh(k\bar{l}_1) \\ \sin(k\bar{l}_1) & -\cos(k\bar{l}_1) & sh(k\bar{l}_1) & ch(k\bar{l}_1) \end{vmatrix}; \quad S_4 = \begin{vmatrix} -1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\alpha} & 0 & -\frac{1}{\alpha} \\ \alpha^2 & 0 & -\alpha^2 & 0 \\ 0 & \alpha & 0 & -\alpha \end{vmatrix}.$$

Раскрывая определитель $\Delta(k_i)$ $(i = 1, 2, 3, ...)$ с учетом миноров (14) матрицы A получим вековое уравнение в виде:

$$\Delta(k_i) = M_{13} F_1(k_i) + M_{23} F_2(k_i) + M_{14} F_3(k_i) + M_{24} F_4(k_i) = 0, \ (i = 1, 2, 3, ...) \tag{18}$$

в котором функции $F_j(k_i)$ ($j=1,2,3,4$) при $l_1=l_2$, $\alpha=1$ $\left(\varphi=\dfrac{\pi}{2}\right)$ примут вид:

$$
\begin{aligned}
&F_1(k_i)=16k^4(\sin(k\bar{l}_1)ch(k\bar{l}_1)\cos(k\bar{l}_2)\,\mathrm{s}\,h(k\bar{l}_2)-\cos(k\bar{l}_1)ch(k\bar{l}_1)\sin(k\bar{l}_2)\,\mathrm{s}\,h(k\bar{l}_2)-\\
&-\sin(k\bar{l}_1)sh(k\bar{l}_1)\cos(k\bar{l}_2)ch(k\bar{l}_2)+\cos(k\bar{l}_1)sh(k\bar{l}_1)\sin(k\bar{l}_2)ch(k\bar{l}_2));\\
&F_2(k_i)=8k^3(\sin(k\bar{l}_1)sh(k\bar{l}_1)\sin(k\bar{l}_2)ch(k\bar{l}_2)-\sin(k\bar{l}_1)ch(k\bar{l}_1)\cos(k\bar{l}_2)ch(k\bar{l}_2)+\\
&+\cos(k\bar{l}_1)sh(k\bar{l}_1)\cos(k\bar{l}_2)ch(k\bar{l}_2)+\sin(k\bar{l}_1)sh(k\bar{l}_1)\cos(k\bar{l}_2)sh(k\bar{l}_2)-\\
&-\cos(k\bar{l}_1)sh(k\bar{l}_1)\sin(k\bar{l}_2)sh(k\bar{l}_2)-\sin(k\bar{l}_1)ch(k\bar{l}_1)\sin(k\bar{l}_2)sh(k\bar{l}_2)+\\
&+\cos(k\bar{l}_1)ch(k\bar{l}_1)\sin(k\bar{l}_2)ch(k\bar{l}_2)-\cos(k\bar{l}_1)ch(k\bar{l}_1)\cos(k\bar{l}_2)sh(k\bar{l}_2));\\
&F_3(k_i)=8k^3(\sin(k\bar{l}_1)sh(k\bar{l}_1)\cos(k\bar{l}_2)ch(k\bar{l}_2)-\sin(k\bar{l}_1)ch(k\bar{l}_1)\cos(k\bar{l}_2)ch(k\bar{l}_2)-\\
&-\cos(k\bar{l}_1)sh(k\bar{l}_1)\cos(k\bar{l}_2)ch(k\bar{l}_2)+\sin(k\bar{l}_1)sh(k\bar{l}_1)\cos(k\bar{l}_2)sh(k\bar{l}_2)-\\
&-\cos(k\bar{l}_1)sh(k\bar{l}_1)\sin(k\bar{l}_2)sh(k\bar{l}_2)-\sin(k\bar{l}_1)ch(k\bar{l}_1)\sin(k\bar{l}_2)sh(k\bar{l}_2)+\\
&+\sin(k\bar{l}_1)ch(k\bar{l}_1)\cos(k\bar{l}_2)ch(k\bar{l}_2)+\cos(k\bar{l}_1)ch(k\bar{l}_1)\cos(k\bar{l}_2)sh(k\bar{l}_2));\\
&F_4(k_i)=4k^2(-2\sin(k\bar{l}_1)ch(k\bar{l}_1)\cos(k\bar{l}_2)ch(k\bar{l}_2)+2\sin(k\bar{l}_1)sh(k\bar{l}_1)\cos(k\bar{l}_2)ch(k\bar{l}_2)+\\
&+2\cos(k\bar{l}_1)ch(k\bar{l}_1)\sin(k\bar{l}_2)sh(k\bar{l}_2)-2\cos(k\bar{l}_1)sh(k\bar{l}_1)\sin(k\bar{l}_2)ch(k\bar{l}_2)-\\
&-\mathrm{c}\,h(k\bar{l}_1)^2ch(k\bar{l}_2)^2+\mathrm{c}\,h(k\bar{l}_1)^2sh(k\bar{l}_2)^2+sh(k\bar{l}_1)^2ch(k\bar{l}_2)^2-sh(k\bar{l}_1)^2sh(k\bar{l}_2)^2+\\
&+\sin(k\bar{l}_1)^2\cos(k\bar{l}_2)^2+\sin(k\bar{l}_1)^2\sin(k\bar{l}_2)^2+\cos(k\bar{l}_1)^2\cos(k\bar{l}_2)^2+\cos(k\bar{l}_1)^2\sin(k\bar{l}_2)^2).
\end{aligned}
\tag{19}
$$

Заметим, что вековое уравнение задачи (3), (15) (16) будет иметь аналогичный (18) вид, а именно

$$\Delta(\tilde{k}_i)=M_{13}F_1(\tilde{k}_i)+M_{23}F_2(\tilde{k}_i)+M_{14}F_3(\tilde{k}_i)+M_{24}F_4(\tilde{k}_i)=0,\ \ (i=1,2,3,...) \tag{20}$$

причем функции $F_j(\tilde{k}_i)$ ($j=1,2,3,4$) также будут иметь выражения, аналогичные (19).

Полученные уравнения (18) и (20) являются целыми функциями порядка ½ [8], тогда имеем соотношения:

$$\Delta(k_i)\equiv K\ \Delta(\tilde{k}_i), \tag{21}$$

где K – нетривиальная константа. Тогда, учитывая (13) и сами выражения вековых уравнений, можем записать равенство:

$$(a_1b_1-\tilde{a}_1\tilde{b}_1)F_1(k_i)+(a_2b_1-\tilde{a}_2\tilde{b}_1)F_2(k_i)-(a_1b_2-\tilde{a}_1\tilde{b}_2)F_3(k_i)+(a_1b_1-\tilde{a}_1\tilde{b}_1)F_4(k_i)\equiv 0. \tag{22}$$

Применяя далее команды математического пакета Maple, можно показать линейную независимость функций $F_j(k_i)$ ($j=1,2,3,4$) (раскладывая их, например, в степенной ряд).

Далее учетом (22) и линейной независимости функций $F_j(k_i)$ имеем:

$$(0,\ a_1b_1,\ a_2b_1,\ a_1b_2,\ a_2b_2,\ 0)^T=K\ (0,\ \tilde{a}_1\tilde{b}_1,\ \tilde{a}_2\tilde{b}_1,\ \tilde{a}_1\tilde{b}_2,\ \tilde{a}_2\tilde{b}_2,\ 0)^T, \tag{23}$$

откуда следует пропорциональность бивекторов $\vec{a}\Lambda\vec{b}$ и $\vec{a}'\Lambda\vec{b}'$. Из их пропорциональности следует соответствие подпространств оболочек $\langle\vec{a},\vec{b}\rangle$ и $\langle\vec{a}',\vec{b}'\rangle$, а с учетом (23): $\langle\vec{a},\vec{b}\rangle=\langle\vec{a}',\vec{b}'\rangle$.

Таким образом, оболочка $\langle\vec{a},\vec{b}\rangle$ (на векторах $\vec{a}=(a_1,\ -a_2,\ 0,\ 0)^T$ и $\vec{b}=(0,\ 0,\ b_1,\ b_2)^T$) восстанавливается единственным образом. Теорема доказана.

Рассмотрим теперь алгоритм определения этого решения. Если известны собственные значения k_i $(i=1,2,3,...)$ задачи (3), (11), (12), то, подставляя их в вековое уравнение (18), получим систему трех уравнений от неизвестных $M_{13},\ M_{14},\ M_{23},\ M_{24}$ миноров матрицы A граничных условий.

Исходя из теоремы, данная система разрешается однозначно с точностью до ненулевого константа, т.е. определяет бивектор

$$(0,\ M_{13},\ M_{14},\ M_{23},\ M_{24},\ 0)^T .$$

С помощью найденных миноров определяется сама матрица A (с точностью до эквивалентных матриц), т.е. восстанавливаются граничные условия спектральной задачи, в том числе и случай абсолютно жестких закреплений концов двухсегментной балки.

Пример 1

Пусть $k_1 = 2{,}1574,\ k_2 = 7{,}0080,\ k_3 = 12{,}9346$ – собственные значения задачи (3), (11), (12), соответствующие первым трем собственным частотам изгибных колебаний двухсегментной балки с физическими и геометрическими параметрами

$$E = 2\cdot 10^{11}\frac{H}{м^2};\ \varphi = \frac{\pi}{2};\ I_1 = I_2 = I = 0{,}5\cdot 10^{-5}м^4;\ l_1 = l_2 = 0{,}5м;\ b = h = 0{,}1м. \qquad (24)$$

Определим матрицу A с точностью до эквивалентных матриц, тем самым восстановим жесткостные параметры граничных условий балки.

Решение

При заданных собственных значениях k_i ($i = 1,2,3$) с помощью команд пакета Maple находим по формулам (19) соответствующие функции $F_j(k_i)$ ($j = 1,2,3,4$) и имеем систему уравнений (18) в виде:

$$\begin{cases} 1231{,}7214M_{13} + 48{,}9417M_{14} + 103{,}4455M_{23} + 132{,}3130M_{24} = 0; \\ 0{,}14142\cdot 10^8 M_{13} - 130289{,}92M_{14} + 0{,}21483M_{23} + 143981{,}05M_{24} = 0; \\ 0{,}33409\cdot 10^{11} M_{13} - 0{,}20553\cdot 10^{10} M_{14} + 0{,}4638\cdot 10^{10} M_{23} + 0{,}9985\cdot 10^8 M_{24} = 0; \end{cases}$$

В этом же пакете получаем решение системы:

$$M_{13} = -0{,}050000C;\ M_{14} = -0{,}199999C,\ M_{23} = 0{,}250000C;\ M_{24} = C.$$

Здесь C – некоторая нетривиальная константа.

Тогда бивектор $(0,\ M_{13},\ M_{14},\ M_{23},\ M_{24},\ 0)^T$ можно считать приближенно равным (с точностью до константы): $(0,\ 1,\ 4,\ -5,\ -20,\ 0)^T$. Найдем далее оболочку $\langle \vec{a}, \vec{b} \rangle$ данного бивектора. Для этого рассмотрим некоторый произвольный вектор $\vec{x} = (x_1,\ x_2,\ x_3,\ x_4)^T$ искомой оболочки, тогда координаты вектора $\vec{x}$ удовлетворяют условию

$$rank \begin{Vmatrix} a_1 & -a_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_1 & b_2 \\ x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \end{Vmatrix} = 2.$$

С учетом того, что есть ненулевые миноры, например, $M_{13} \neq 0$, можно из последнего равенства получить равенство нулю окаймляющих M_{13} миноров

$$\begin{Vmatrix} a_1 & -a_2 & 0 \\ 0 & 0 & b_1 \\ x_1 & x_2 & x_3 \end{Vmatrix},\ \begin{Vmatrix} a_1 & 0 & 0 \\ 0 & b_1 & b_2 \\ x_1 & x_3 & x_4 \end{Vmatrix}.$$

Последние определители разложим, например, по третьей строке:

$$x_1 M_{23} + x_2 M_{13} + x_3 \cdot 0 = 0;$$
$$x_1 \cdot 0 + x_3 M_{14} + x_4 M_{13} = 0.$$

Тогда произвольный вектор искомой оболочки примет вид $\vec{x} = (x_1,\ -5x_1,\ x_3,\ 4x_3)^T$, а базисными векторами этой оболочки могут служить векторы $\vec{a} = (1,\ -5,\ 0,\ 0)^T$ и $\vec{b} = (0,\ 0,\ 1,\ 4)^T$.

В итоге матрицу A граничных условий имеем в виде: $A = \begin{Vmatrix} 1 & -5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 4 \end{Vmatrix}$.

В соответствие с равенствами (13) имеем следующие безразмерные и размерные параметры жесткостей пружин кручения шарнирных опор двухсегментной балки:

$$C_1 = 5,\ C_2 = 4 \text{ или } c_1 = 5 \cdot 10^6 H \cdot м^{-1},\ c_2 = 4 \cdot 10^6 H \cdot м^{-1} \text{ (с учетом (13) и (24).}$$

Коэффициенты жесткостей опор балки восстановлены верно, поскольку при решении прямой задачи (3), (11), (12) именно значения жесткостей $c_1 = 5 \cdot 10^6 H \cdot м^{-1},\ c_2 = 4 \cdot 10^6 H \cdot м^{-1}$ (при остальных параметрах (24) балки) определяют заданные собственные значения $k_1 = 2{,}1574,\ k_2 = 7{,}0080,\ k_3 = 12{,}9346$.

Пример 2

Решить обратную спектральную задачу для двухсегментной балки с параметрами (24) при известных собственных значениях: $k_1 = 3{,}1416,\ k_2 = 9{,}4248,\ k_3 = 12{,}5664$.

Решение

Система уравнений (18) при заданных значениях k_i $(i = 1,2,3,...)$ и физических параметрах имеет решение:

$$M_{13} = 0{,}761844 \cdot C;\ M_{24} = 0{,}999994C;\ M_{14} = 0{,}999999C;\ M_{23} = 0{,}9999910^{20} C,$$

где C – нетривиальная константа. Значит имеем бивектор $(0,\ M_{13},\ M_{14},\ M_{23},\ M_{24},\ 0)^T$ с точностью до константы в виде $(0,\ 0,\ 0,\ 0,\ -1,\ 0)^T$.

Аналогичные рассуждения и проведенные как в примере 1 преобразования, дают приближения:

$$M_{13} = a_1 b_1 \approx 0,\ M_{14} = a_1 b_2 \approx 0,\ M_{23} = a_2 b_1 \approx 0,\ M_{24} = -a_2 b_2 \approx -1.$$

Значит базисные векторы $\vec{a} = (0,\ -1,\ 0,\ 0)^T$, $\vec{b} = (0,\ 0,\ 0,\ 0)^T$ и матрица A:

$$A = \begin{Vmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix}.$$

С учетом (13) и (24) получаем, что коэффициенты жесткостей опор балки стремятся к бесконечности, что говорит об абсолютно жестких закреплениях обоих краев двухсегментной балки.

Таким образом, представленный алгоритм решения обратной граничной задачи позволяет по трем частотам изгибных колебаний балки восстанавливать единственным образом ее жесткостные параметры ее шарнирных опор, в том числе и абсолютно жесткие закрепления.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Ганиев Р.Ф. Колебания твердых тел / Р.Ф. Ганиев, В.О. Кононенко – М.: Наука, 1976. – 432 с.
2. Бабаков И.М. Теория колебаний / И.М. Бабаков. – М.: Дрофа, 2004. – 591с.
3. Горяченко В. Д. Элементы теории колебаний / В.Д. Горяченко – М.: Наука, 2001. – 395 с.
4. Доев В.С. Поперечные колебания балок / В.С. Доев – М.: КНОРУС, 2016. – 412 с.
5. Ватульян А.О. Прямые и обратные задачи для однородных и неоднородных упругих и электроупругих тел / А.О. Ватульян, А.Н. Соловьев – Ростов н/Д: ЮФУ, 2008. – 176 с.
6. Сафина Г.Ф. Исследования поперечных колебаний шарнирно-опертой балки ступенчато-переменного сечения / Г.Ф. Сафина, К.И. Хусаинова // Физическое образование в вузах. – 2018. – Т.24. №1S. – С.111-113.
7.Сафина Г.Ф. Моделирование в прямой и обратной задачах колебаний балки из двух сегментов / Г.Ф. Сафина // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – №5. – С. 75-80.
8.Иванов В.К. Теория линейных некорректных задач и ее приложения / В. К. Иванов, В. В. Васин, В.П. Танана. – М.: Наука, 1978. – 200 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1.Ganiev R.F. Kolebanija tverdyh tel [Solid vibrations] / R.F. Ganiev, V.O. Kononenko – M.: Nauka, 1976. – 432 p. [in Russian]
2. Babakov I.M. Teorija kolebanij [Wave theory] / I.M. Babakov. – M.: Drofa, 2004. – 591 p. [in Russian]

3. Gorjachenko V. D. Jelementy teorii kolebanij [Elements of vibration theory] / V.D. Gorjachenko – M.: Nauka, 2001. – 395 p. [in Russian]

4.Doev V.S. Poperechnye kolebanija balok [Transverse vibrations of beams] / V.S. Doev – M.: KNORUS, 2016. – 412 p. [in Russian]

5. Vatul'jan A.O. Prjamye i obratnye zadachi dlja odnorodnyh i neodnorodnyh uprugih i jelektrouprugih tel [Direct and inverse tasks for homogeneous and inhomogeneous elastic and electrically elastic bodies] / A.O. Vatul'jan, A.N. Solov'ev – Rostov n/D: JuFU, 2008. – 176 p. [in Russian]

6. Safina G.F. Issledovanija poperechnyh kolebanij sharnirno-opertoj balki stupenchato-peremennogo sechenija [Studies of transverse vibrations of the hinged-supported beam of stepwise-variable section] / G.F. Safina, K.I. Husainova // Fizicheskoe obrazovanie v vuzah. [Physical education in universities] – 2018. – Vol.24. №1S. – P. 111-113. [in Russian]

7. Safina G.F. Modelirovanie v prjamoj i obratnoj zadachah kolebanij balki iz dvuh segmentov [Simulation in direct and reverse problems of beam oscillations from two segments] / G.F. Safina // Sovremennye naukoemkie tehnologii. [Modern knowledge-intensive technologies] – 2019. – №5. – P. 75-80. [in Russian]

8. Ivanov V.K. Teorija linejnyh nekorrektnyh zadach i ee prilozhenija [The theory of linear incorrect problems and its applications] / V. K. Ivanov, V. V. Vasin, V.P. Tanana. – M.: Nauka, 1978. – 200 p. [in Russian]

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / ENGINEERING

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.004

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДОСТИЖЕНИЙ СТУДЕНТОВ

Научная статья

Аникьева М.А.[1, *], Шмаглий А.А.[2], Максимова Е.В.[3]
[1] ORCID: 0000-0001-8155-5902;
[1, 2, 3] Сибирский Федеральный университет, Красноярск, Россия

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

Аннотация

Работа посвящена вопросу применения визуализации при обработке сведений об успеваемости студентов, анализу и принятию решений на основе визуального представления. Нашей целью является разработка инструментов для автоматизации и упрощения оценки успеваемости группы студентов, а также повышение качества контроля студенческой деятельности в рамках программы обучения. В статье представлено исследование способов визуализации данных с целью определения наиболее подходящих для анализа деятельности группы обучающихся. В качестве показателя для анализа выбрано соответствие плановому графику. В ходе исследования было выявлено, что способы визуализации достижений одного обучающегося не подходят для группы. В результате был выбран пиксельный способ, позволяющий комплексно оценивать достижения всей группы обучающихся по всем заданиям, и диаграмма рассеяния, позволяющая выявлять подгруппы обучающихся с близкими показателями и, в результате, преподаватель может дифференцировать работу подгрупп, вплоть до отдельных обучающихся.

В качестве решения задачи обработки большого потока и объема информации в образовательной деятельности предложена разработка модуля визуализации и анализа успеваемости группы и подгрупп студентов при освоении учебной дисциплины. Данная разработка направлена на упрощение трудной и рутинной работы преподавателей за счет визуального представления успеваемости студентов.

Ключевые слова: обучение, визуализация, дифференциация обучения, успеваемость студентов, групповое обучение.

VISUALIZATION OF STUDENT ACHIEVEMENTS

Research article

Anikyeva M.A.[1, *], Shmagliy A.A.[2], Maksimova E.V.[3]
[1] ORCID: 0000-0001-8155-5902;
[1, 2, 3] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

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

Abstract

The current article discusses the use of visualization in the processing of data on student performance as well as analysis and decision-making based on visual representation. The aim of this study is to develop tools to automate and simplify the assessment of the performance of a group of students and to improve the quality of student activity control within the framework of the educational program. The authors present a study of data visualization methods with the goal of determining the most suitable for analyzing the activities of a group of students. Compliance with the planned schedule is selected as an indicator for the analysis. The study demonstrates that the methods of visualizing the achievements of one student are not suitable for a group. As a result, the authors chose a pixel method that allowed them to comprehensively evaluate the achievements of the entire group of students in all tasks. They also chose a scatter plot that allowed for identifying subgroups of students with similar indicators, as a result of which the teacher can differentiate the work of subgroups up to individual students.

As a solution to the problem of processing large quantities of information in educational activities, the study proposes the development of a module for visualizing and analyzing the performance of a group and subgroups of students in a chosen academic discipline. This development is aimed at simplifying the difficult and routine work of teachers by visually presenting the progress of students.

Keywords: learning, visualization, differentiation of learning, student performance, group learning.

Введение

В современном мире человеку приходится постоянно сталкиваться с необходимостью обрабатывать огромное количество информации. Следовательно, актуальны задачи разработки инструментов с использованием визуальных представлений, которые обладают значительной эффективностью в процессе передачи и восприятия информации. Это связано с тем, что визуальные представления значительно упрощают и ускоряют процесс обработки информации, позволяют решать аналитические задачи и в более сжатые сроки [1]. Сфера образовательной деятельности не является исключением. При обработке сведений об успеваемости студентов есть проблема их анализа, которая в первую очередь связана с большим потоком и объемом информации. Кроме того, нередко возникают такие ситуации, когда ресурсы времени для решения той или иной задачи ограничены и возникает острая необходимость принять решение для того, чтобы справиться с поставленной задачей [2].

В этом случае визуальное представление данных воспринимается лучше и позволяет быстро и эффективно донести до пользователя какую-либо информацию. Кроме того, визуальные представления помогают отслеживать тенденции, делать выводы из информации и быстрее принимать решения [3].

Планирование и организация учебного процесса в высшем учебном заведении обеспечивает качественное выполнение задач по направлениям подготовки в установленные сроки. На основании учебных планов для каждой специальности формируются учебные графики и расписания, определяется перечень дисциплин для каждого курса и семестра обучения. Каждой дисциплине соответствует форма контроля. Таким образом, одной из сложных задач процесса обучения является контроль.

В связи с большим количеством студентов и множеством дисциплин есть необходимость вести учет успеваемости студентов с помощью электронных средств, где в качестве исходных данных будет использоваться цифровой след обучающегося в ЭОС. Это позволит преподавателю управлять учебным процессом, выявлять трудности в реализации программ учебных дисциплин, а также производить своевременную корректировку ошибок и отслеживать успеваемость. Кроме того, учет успеваемости служит элементом обратной связи между учащимися и преподавателем.

На данный момент сведения об успеваемости студентов находятся, как правило, в электронной образовательной среде и без специальных средств для анализа данных требуются существенные затраты времени. Оценить ключевые показатели и принять важные решения гораздо проще, если все данные «перед глазами». Например, при помощи интерактивных аналитических инструментов, таких как дашборды.

Таким образом, для автоматизации и упрощения процесса анализа успеваемости группы студентов, а также повышения качества контроля студенческой деятельности в рамках программы обучения предлагается разработанный модуль визуализации успеваемости группы студентов на основе данных электронного курса. Данный модуль включает в себя функции предварительной обработки входных данных и их частичного анализа для группировки и оценки отклонения от графика сдачи. Используя визуальное представление можно наблюдать статистику успеваемости и принимать решения о разбиении студентов на подгруппы для дифференцированной работы с ними.

Выбор показателей для создания визуальных представлений

Эффективное и действенное применения методов интеллектуального анализа данных влечет за собой решение множества других вопросов, начиная от того, как определить успех студента, с помощью каких показателей, какие методы анализа применять.

Для выбора подходящего способа наглядного отображения данных необходимо, прежде всего, определить, что должно быть отражено на графике. Одной из самых важных возможностей для преподавателей является просмотр успеваемости каждого студента по каждой работе. Отсюда вытекает необходимость выбора метода визуализации, который позволил бы наглядно отобразить данные отдельного студента, а также целой группы студентов.

В работе [4] предлагаются такие показатели деятельности образовательного учреждения как успеваемость, стабильность, успешность, удовлетворенность, достижение целей, процент отсева. Показатели деятельности обучающегося в [5] определены следующим образом: академическая успеваемость, удовлетворенность, приобретение навыков и компетенций, настойчивость, достижение целей обучения и успех в карьере. Академическая успеваемость в основном основана на среднем показателе успеваемости или совокупном среднем уровне успеваемости, которые представляют собой системы оценок, используемые в учебных заведениях для определения шкалы оценок для студентов. Успех в учебе также был связан с настойчивостью студентов, также называемой академической устойчивостью, который, в свою очередь, также в основном измеряется оценками и средним баллом успеваемости, которые являются наиболее широкодоступными в учебных заведениях.

Из этого небольшого обзора явно видно, что это серьезная задача — определить, как измерять достижения обучающегося и как это отображать с помощью визуальных представлений. В представляемой разработке в качестве показателя для анализа выбрано соответствие плановому графику выполнения контрольных заданий.

Выбор вида визуального представления

Необходимо рассмотреть варианты визуализации многомерных данных, поскольку, исходя из вышеописанного, диаграмма должна содержать три параметра: работа, студент и степень отклонения от графика сдачи. Важно понимать, что речь идет не о графике функции в привычном понимании, поскольку математически выразить зависимость данных величин друг от друга не представляется возможным. Речь идет о создании исчерпывающей инфографики, охватывающей все три параметра.

На основе работ [6], [7], [10] было принято решение использовать пиксельную диаграмму (англ. waffle chart) и диаграмму рассеяния (см. рисунок 1).

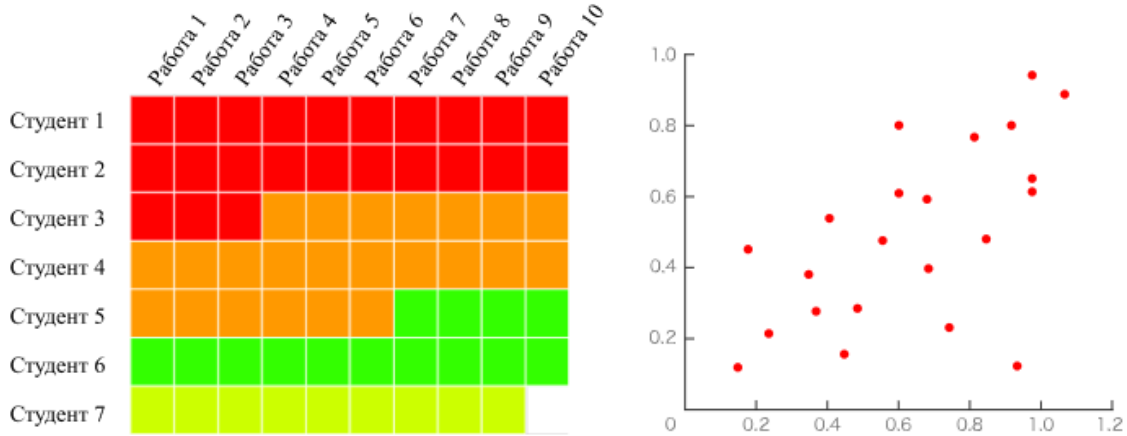


Рис. 1 – Пример пиксельной диаграммы и диаграммы рассеяния

Одним из важных классов методов визуализации, который особенно интересен для визуализации очень больших многомерных наборов данных, является класс методов, ориентированных на пиксели. Основная идея методов пиксельно-ориентированной визуализации состоит в том, чтобы одновременно отображать на экране как можно больше данных, отображая каждое значение данных на пиксель экрана и располагая пиксели соответствующим образом. Метод хорошо подходит для отображения разницы между значениями, отображая пиксели разным цветом. Пиксельная диаграмма в представляемой разработке построена следующим образом: по оси X расположены студенты, по оси Y – работы, а степень отклонения от графика сдачи по каждой работе определяется цветом пикселя, где красный – не сдано, оранжевый – сдано с большим опозданием, желтый – сдано с небольшим опозданием, зеленый – сдано вовремя.

Диаграмма рассеяния или точечная диаграмма использует точки для представления значений двух различных числовых переменных. Положение каждой точки на горизонтальной и вертикальной осях указывает значения для отдельной точки данных. Данный вид диаграммы также может быть полезен для выявления других закономерностей в данных. Мы можем разделить точки данных на группы в зависимости от того, насколько тесно наборы точек группируются вместе. Точечные диаграммы также могут показать, есть ли какие-либо неожиданные пробелы в данных и есть ли какие-либо точки выброса. Следовательно, с помощью нее можно визуально разбить данные на группы — что и является главной целью визуального представления данных в рамках данной работы.

Функциональные требования к модулю визуализации и анализа успеваемости студентов

Выделены основные требования к функционалу разрабатываемого модуля на основе специфики имеющихся данных.

- управление курсами, внесение информации о работах и сроках их сдачи;
- обработка данных в формате .csv, экспортируемых из электронного курса, и их преобразование для последующего анализа;
- анализ данных для определения отклонения каждого студента от графика сдачи;
- визуализация обработанных данных;
- возможность для преподавателя предпринять действия в зависимости от отклонения – назначить дополнительное задание, уведомить студента о задолженности, оставить комментарий;
- формирование отчетов по успеваемости для сохранения и печати.

В общем виде схема проекта представлена на рисунке 2:

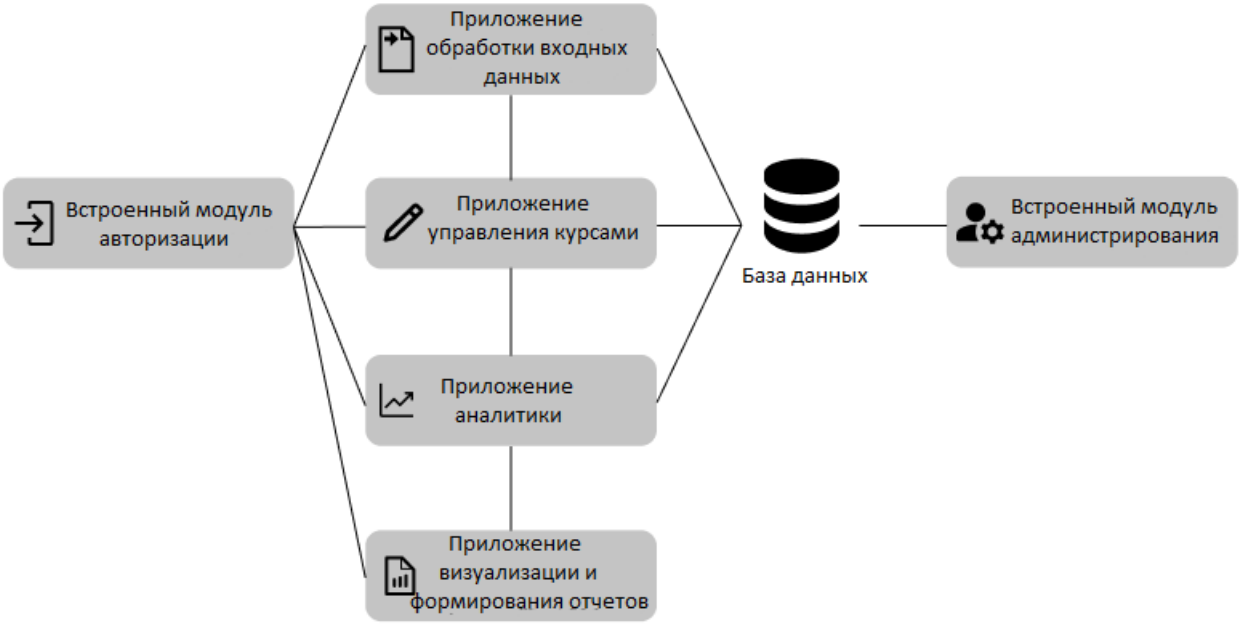


Рис. 2 – Структура проекта

Приложение обработки данных включает в себя функции парсинга таблицы в форматах .csv и .xlsx для приведения их в применимый в рамках аналитики успеваемости вид.

Приложение аналитики сравнивает имеющуюся в базе данных информацию по группе студентов в рамках конкретного курса и только что импортированные данные, фиксирует различие между ними, на основании которого обновляет актуальную информацию для визуализации.

Приложение управления курсами позволяет создавать, редактировать и удалять курсы, которые контролирует преподаватель в ЭОК. Это могут быть как все текущие дисциплины, так и некоторые из них. В рамках каждого курса преподаватель может управлять работами, добавлять новые, указывать крайние даты сдачи каждой из них, а также устанавливать предельные нормы отклонения от графика сдачи, классифицируя их как «небольшое опоздание», «среднее опоздание» и «сильное опоздание».

Наконец, приложение визуализации и формирования отчетов осуществляет генерацию инфографики на основе актуальной информации с возможностью печати и сохранения отчетов со сводными таблицами по успеваемости студентов. На этапе просмотра диаграммы возможно принятие мер дополнительных мер контроля успеваемости.

Для реализации проекта была определена архитектура веб-приложения (клиент-сервер), а также шаблон проектирования (MVC) и основные критерии качества пользовательского интерфейса.

Был определен стэк технологий, используемых при реализации системы, включая фреймворк (Django), базу данных (SQLite), а также backend- (Pyton) и frontend-инструменты (HTML, CSS, JavaScript).

Были спроектированы все страницы системы, а также взаимодействие между ними. На рисунке 3 представлены главная страница приложения. Она содержит в себе боковое меню для навигации по страницам модуля, а также приветственное сообщение и контакты. На рисунках 4, 5 страницы визуализации успеваемости группы студентов. На них производится вывод инфографики на основании актуальных данных с соответствующей легендой.

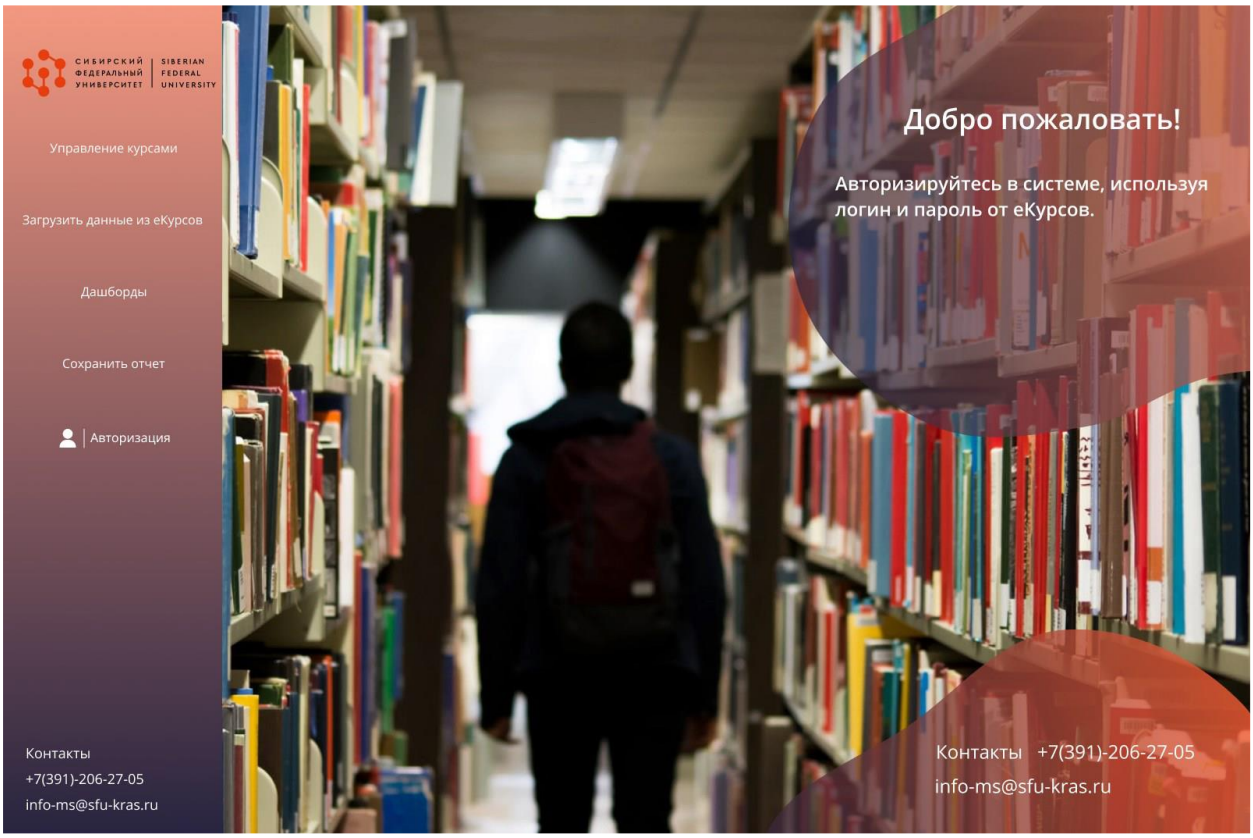


Рис. 3 – Главная страница приложения

Рис. 4 – Отображение успеваемости группы с помощью пиксельной диаграммы

Рис. 5 – Отображение успеваемости группы с помощью диаграммы рассеяния

На рисунках 6 и 7 программный код функций для выбранных методов визуализации на основе имеющихся данных, занесенных в массив из базы данных.

```
def calculate_average_delay_in_days(students):
    delays = []

    for student in students:
        task_count = 0
        delay_sum = 0
        no_tasks = True

        for student_task in student_tasks:
            if student_task.student == student:
                task_count += 1

                if student_task.completion_date is None:
                    continue

                no_tasks = False
                if student_task.completion_date <= student_task.task.deadline:
                    continue
                else:
                    delay_sum += (student_task.completion_date - student_task.task.deadline).days

        avg_delay = delay_sum / task_count

        if no_tasks:
            status = STATUS_NOT_COMPLETE
        elif avg_delay == 0:
            status = STATUS_COMPLETE
        elif avg_delay <= MAX_SLIGHT_DELAY_DAYS:
            status = STATUS_SLIGHT_DELAY
        else:
            status = STATUS_BIG_DELAY

        delays.append({'id': student.student_id, 'avg_delay': avg_delay, 'status': status})

    return delays
```

Рис. 6 – Программный код функции для диаграммы рассеивания

```
def calculate_academic_performance(student_tasks):
    for student_task in student_tasks:
        if student_task.completion_date is None:
            continue
        elif student_task.completion_date <= student_task.task.deadline:
            student_task.status = STATUS_COMPLETE
        elif student_task.completion_date - student_task.task.deadline <= timedelta(days=7):
            student_task.status = STATUS_SLIGHT_DELAY
        else:
            student_task.status = STATUS_BIG_DELAY
```

```
Student1, Task1, 2021-04-08, 2021-04-03, Сдано в срок
Student1, Task2, 2021-04-13, 2021-04-20, Сдано с небольшим опозданием
Student1, Task3, 2021-04-18, 2021-04-09, Сдано в срок
Student2, Task1, 2021-04-08, 2021-04-06, Сдано в срок
Student2, Task2, 2021-04-13, 2021-04-05, Сдано в срок
Student2, Task3, 2021-04-18, 2021-04-18, Сдано в срок
Student3, Task1, 2021-04-08, 2021-04-20, Сдано с большим опозданием
Student3, Task2, 2021-04-13, 2021-04-17, Сдано с небольшим опозданием
Student3, Task3, 2021-04-18, 2021-04-18, Сдано в срок
```

Рис. 7 – Программный код функции для пиксельного метода визуализации

Заключение

В процессе выполнения проекта в рамках сформулированных задач было проделано следующее:

- были выявлены и проанализированы основные сложности при учете успеваемости студентов со стороны преподавателей;
- на основании анализа различных методов визуализации, с точки зрения визуализации успеваемости студентов и разбиения их на подгруппы, были выбраны наиболее подходящие виды диаграмм для визуализации исходных данных — пиксельная диаграмм и диаграмма рассеяния;
- выбран инструментарий для программной реализации модуля, создан дизайн-макет страниц, с учетом общих требований к пользовательскому интерфейсу, произведена программная реализация проекта.

Созданный модуль визуализации и анализа данных о достижениях группы и подгрупп студентов может использоваться как отдельно, так и в качестве надстройки для ЭОС.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Treisman A. Preattentive processing in vision / A. Treisman // Computer Vision, Graphics, and Image Processing. – 1985. – Vol.31, №2. – P.156–177. DOI: 10.1016/S0734-189X(85)80004-9.
2. Клышинский, Э.С. Обзор методов визуализации многомерных данных / Э.С. Клышинский, С.В. Рысаков, А.И. Шихов // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2014. – №17. – С.519–530.
3. Mazza R. Introduction to Information Visualization / R. Mazza. – London: Springer London, 2009. – 139 p.
4. Alyahyan E. Predicting academic success in higher education: literature review and best practices / E. Alyahyan, D. Düştegör // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2020. – Vol.17, №1. DOI: 10.1186/s41239-020-0177-7.
5. York T.T. Defining and Measuring Academic Success / T.T. York, C. Gibson, S. Rankin. University of Massachusetts Amherst, 2015.
6. Яу Н. Искусство визуализации в бизнесе / Н. Яу. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 352 с.
7. The benefits and caveats of using clickstream data to understand student self-regulatory behaviors: opening the black box of learning processes / R. Baker, Di Xu, J. Park et al. // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2020. – Vol.17, №1. DOI: 10.1186/s41239-020-00187-1.
8. Желязны Д. Говори на языке диаграмм / Д. Желязны. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2007. – 320 с.
9. Rodríguez Hoyos C. The e-Tutor Figure: Findings and conclusions of a case-study research project / C. Rodríguez Hoyos, A. Calvo Salvador // RUSC. Universities and Knowledge Society Journal. – 2011. – Vol.8, №1. – P.66. DOI: 10.7238/rusc.v8i1.1001.
10. Chi E.H. A taxonomy of visualization techniques using the data state reference model / E.H. Chi. – P.69–75. DOI: 10.1109/INFVIS.2000.885092.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Treisman A. Preattentive processing in vision / A. Treisman // Computer Vision, Graphics, and Image Processing. – 1985. – Vol.31, №2. – P.156–177. DOI: 10.1016/S0734-189X(85)80004-9.
2. Klyshinsky, E. S. Obzor metodov vizualizacii mnogomernyh dannyh [Review of methods of visualization of multidimensional data] / E. S. Klyshinsky, S. V. Rysakov, A. I. Shikhov // New information technologies in automated systems. – 2014. – №17. – p.519–530. [in Russian]
3. Mazza R. Introduction to Information Visualization / R. Mazza. – London: Springer London, 2009. – 139 p.
4. Alyahyan E. Predicting academic success in higher education: literature review and best practices / E. Alyahyan, D. Düştegör // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2020. – Vol.17, №1. DOI: 10.1186/s41239-020-0177-7.
5. York, T. T. Defining and Measuring Academic Success / T. T. York, C. Gibson, S. Rankin. University of Massachusetts Amherst, 2015.
6. Yau, N. Iskusstvo vizualizacii v biznese [The art of visualization in business] / N. Yau. – M.: Mann, Ivanov and Ferber, 2013. – 352 p. [inRussian]
7. The benefits and caveats of using clickstream data to understand student self-regulatory behaviors: opening the black box of learning processes / R. Baker, Di Xu, J. Park et al. // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2020. – Vol.17, №1. DOI: 10.1186/s41239-020-00187-1.
8. Zelazny, D. Govori na yazyke diagramm [Speak the language diagrams] / D. Zelazny. – M.: Mann, Ivanov and Ferber, 2007. – 320 p. [in Russian]
9. Rodríguez Hoyos C. The e-Tutor Figure: Findings and conclusions of a case-study research project / C. Rodríguez Hoyos, A. Calvo Salvador // RUSC. Universities and Knowledge Society Journal. – 2011. – Vol.8, №1. – P.66. DOI: 10.7238/rusc.v8i1.1001.
10. Chi E.H. A taxonomy of visualization techniques using the data state reference model / E.H. Chi. – P.69–75. DOI: 10.1109/INFVIS.2000.885092.

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.005

ПЛАНИРОВАНИЕ В ДОПЕЧАТНОЙ ПОДГОТОВКЕ

Научная статья

Аникьева М.А.[1, *], Грибинюк С.А.[2], Бартуханова И.А.[3], Лисиченко Н.В.[4]
[1] ORCID: 0000-0001-8155-5902;
[1, 2, 3, 4] Сибирский Федеральный университет, Красноярск, Россия

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

Аннотация

В статье описываются особенности допечатной подготовки, которые препятствуют точному планированию технологического процесса в этой сфере полиграфического производства. Предметная область относится к сложно-структурированным. Предлагается решение для преодоления этих трудностей. Нашей целью было формализовать технологический процесс и показать возможность автоматизации планирования на основе описания деятельности предприятия. Формализация осуществлялась посредством разработки функционально-структурных диаграмм. Результаты исследования показывают, что в процессе допечатной подготовки сотрудниками выполняется ограниченный набор действий, эти действия следуют в некотором порядке. В зависимости от конечной цели и исходных данных некоторые из них могут не выполняться. Длительность выполнения каждого действия зависит также от исходных данных и конечной цели. Из этого следует, что автоматизация планирования возможна. Для этого необходима структура работ и описание условий, при которых эти работы будут выполняться.

Ключевые слова: допечатная подготовка, планирование, структура работ, технологический процесс, моделирование.

ON PLANNING IN PREPRESS

Research article

Anikyeva M.A.[1, *], Gribinyuk S.A.[2], Bartukhanova I.A.[3], Lisichenko N.V.[4]
[1] ORCID: 0000-0001-8155-5902;
[1, 2, 3, 4] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

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

Abstract

The article describes the aspects of prepress that prevent accurate planning of the technological process in this area of printing production. The subject area belongs to the complex-structured ones, and the study proposes a solution to overcome these difficulties. The goal of the article is to formalize the technological process and demonstrate the possibility of automating planning based on the description of the activities of an enterprise. Formalization was carried out through the development of functional and structural diagrams. The results of the study show that in the process of prepress, employees perform a limited set of actions, which follow a certain order. Depending on the end goal and the source data, some of them are not executed. The duration of each action also depends on the source data and the final objective. Therefore, it can be concluded that automation of planning is possible. In order to achieve this, it is necessary to have a structure of the work as well as a description of the conditions under which these works will be performed.

Keywords: prepress, planning, work structure, technological process, modeling.

Введение

Сфера деятельности полиграфических предприятий является очень обширной. Все полиграфическое производство включает в себя несколько этапов, которые разнятся по сложности исполнения и по затрачиваемому на эти этапы времени. Полиграфический процесс – это ряд мер, нацеленных на создание готовой полиграфической продукции. Он состоит из трех этапов: допечатная подготовка; печатные процессы; постпечатные процессы. Этап допечатной подготовки состоит из таких процессов, как: разработка дизайн-макета; обработка иллюстраций; обработка текста; верстка; препресс; изготовление печатных форм [1]. Для каждого из этих процессов на полиграфическом предприятии требуется совершать различные работы, и эти работы разнятся по продолжительности, сложности, составу в зависимости от конкретных заказов, которые выполняются на полиграфическом производстве.

Допечатные процессы традиционно считаются сложно-структурируемыми, не поддающимися планированию. Для разработки системы по автоматизации планирования необходимо проанализировать процессы допечатной подготовки и выявить проблемы, которые могут усложнять процесс планирования. Также нужно формализовать работы, проводимые в процессах допечатной подготовки.

Автоматизация в полиграфическом производстве

Полиграфические предприятия применяют средства автоматизации, стремясь оптимизировать свою работу, улучшить качество продукции, свести к минимуму время обработки заказов, снизить трудозатраты персонала, не говоря уже о повышение результативности производства и умножении прибыли предприятия. Из всех процессов производства печатной продукции самым ресурсозатратным является допечатная подготовка. Именно на этом этапе возникает большинство проблем.

В настоящее время для автоматизации различных этапов допечатной подготовки имеется большое разнообразие программных средств. Каждое из множества этих средств является специфичным и обладает своими плюсами и минусами. Современные системы автоматизации строятся на нескольких основных концепциях. Эти концепции включают в себя:

- Единое хранилище данных. С его помощью есть возможность для нескольких пользователей одновременно работать с одной информацией;
- Ускоренный цикл производства за счет автоматизации документооборота и внутренней коммуникации;
- Гибкость работы с заказчиками за счет поддержки различных видов входных и выходных данных.

Для автоматизации деятельности полиграфических предприятий применяются некоторые системы по направлениям автоматизации:

- Автоматизация редакционной деятельности. Под редакционной деятельностью понимается создание и подготовка материала и т. д. Системы автоматизации редакционной деятельности называют редакционными системами. Примеры редакционных систем: AxioCat, Quark Publishing System, Presige и другие. Редакционной системы требуются для обеспечения оперативности процессов допечатной подготовки преимущественно для таких изданий, как журналы и газеты. Однако редакционные системы не содержат функций для планирования процессов допечатной подготовки.
- Автоматизация ведения бизнеса. Под ведением бизнеса понимается управление деятельностью предприятия, которое включает в себя поиск клиентов, оформление заказов, бухгалтерию, калькуляцию стоимости, учет. Системы автоматизации ведения бизнеса называют бизнес-системами. Примеры бизнес-систем: 1С: Полиграфия, Апплер, Printeffect и другие. Бизнес-системы содержат функции по планированию производственной деятельности, однако не содержат функций по планированию процессов допечатной подготовки.
- Автоматизация всего полиграфического производства с помощью стандарта обмена данными JDF. С помощью такого стандарта можно обеспечить взаимодействие полиграфического оборудования. Спецификация JDF распределена по всем этапам производства печатной продукции, начиная от поступления заказа и заканчивая передачей готовой продукции заказчику [2].

Вышеописанные системы объединяет то, что они созданы с целью сокращения трудовых и временных затрат на этапе выпуска печатной продукции, но они не содержат функций по планированию процессов допечатной подготовки [3].

Планирование как объект исследования

Планирование – это разумная сторона действия. Это абстрактный, явный процесс обдумывания, который выбирает и организует действия, предвидя их ожидаемые результаты. Это обдумывание направлено на как можно лучшее достижение некоторых заранее поставленных целей. Целенаправленная деятельность требует обдумывания, когда она касается новых ситуаций или сложных задач и целей, или, когда она опирается на менее знакомые действия. Планирование также необходимо, когда адаптация действий ограничена, например, критической средой, связанной с высоким риском или высокими затратами, совместной деятельностью с кем-то другим или деятельностью, которая должна быть синхронизирована с динамической системой. Планирование – важная составляющая рационального поведения.

Результатом процесса планирования является некоторая последовательность действий, выполняемая в ограниченные сроки.

Условия, влияющие на планирование процесса допечатной подготовки

На данный момент не все процессы допечатной подготовки можно каким-либо образом запланировать, т.к. зачастую это субъективный и творческий процесс. Вид, расположение и размер элементов на полосе издания определяет дизайнер, либо верстальщик, выполняющий функции дизайнера. Существуют некоторые условия, которые влияют на длительность процесса допечатной подготовки, и непосредственно на планирование этого процесса. Это такие условия, как [4]:

- Наличие разных требований к оформлению изданий;
- Наличие различных элементов и деталей в макете издания;
- Необходимость обработки исходных материалов вручную;
- Комплексный дизайн издания;
- Возможность изменения макета с каждым выпуском издания;
- Наличие различных отличающихся страниц и элементов;
- Различный объем входных материалов для разных типов изданий;
- Макет может содержать постоянную и переменную информацию.

Исходя из всего того, что было описано выше, можно сделать вывод, что запланировать процесс допечатной подготовки сложно из-за большого количества условий, которые влияют на длительность. Тем не менее, для продукции с постоянным и простым дизайном, например, для газеты или рекламных журналов, некоторые этапы можно запланировать [5]. Для значительной части изданий планирование затруднено из-за большого числа неопределенностей.

На основе вышесказанного, можно выделить две группы препятствий в планировании процесса допечатной подготовки: (а) сложности с определением вида работ и их последовательности; (б) сложности с определением длительности каждого вида работ. Первое препятствие преодолевается с помощью структурирования всех видов работ в виде графа. Обход полученного графа даст их последовательность.

Для определения длительности каждой работы необходимо составить дерево условий выполнения работ, на основании которых можно определять их длительность. Некоторые решения были предложены в [6]. Особенно интересным видится в работах этого автора, возможность учитывать при планировании не только характеристики исходных данных для обработки, но и квалификацию работника.

Структурирование работ в допечатной подготовке

Описание видов работ в процессе допечатной подготовки производилось на основе наблюдений за производственным процессом в типографиях города Красноярска. Также использовались теоретические источники, например: для описания работ по созданию дизайн-макета издания [7], обработке текста [8], обработке иллюстраций,

верстке, препрессу [9], изготовлению печатных форм [10]. А также книги [11], [12], [13] и другие. На рисунках 1-6 представлены фрагменты полученных схем.

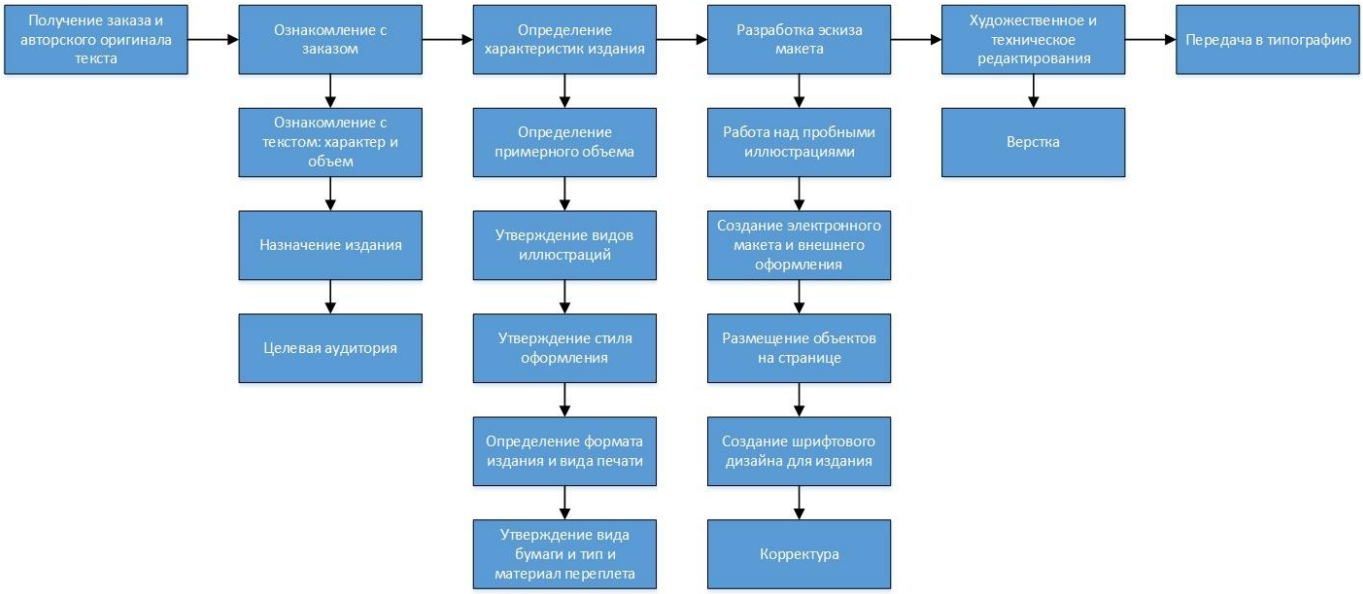


Рис. 1 – Фрагмент структурной схемы работ по созданию дизайн-макета

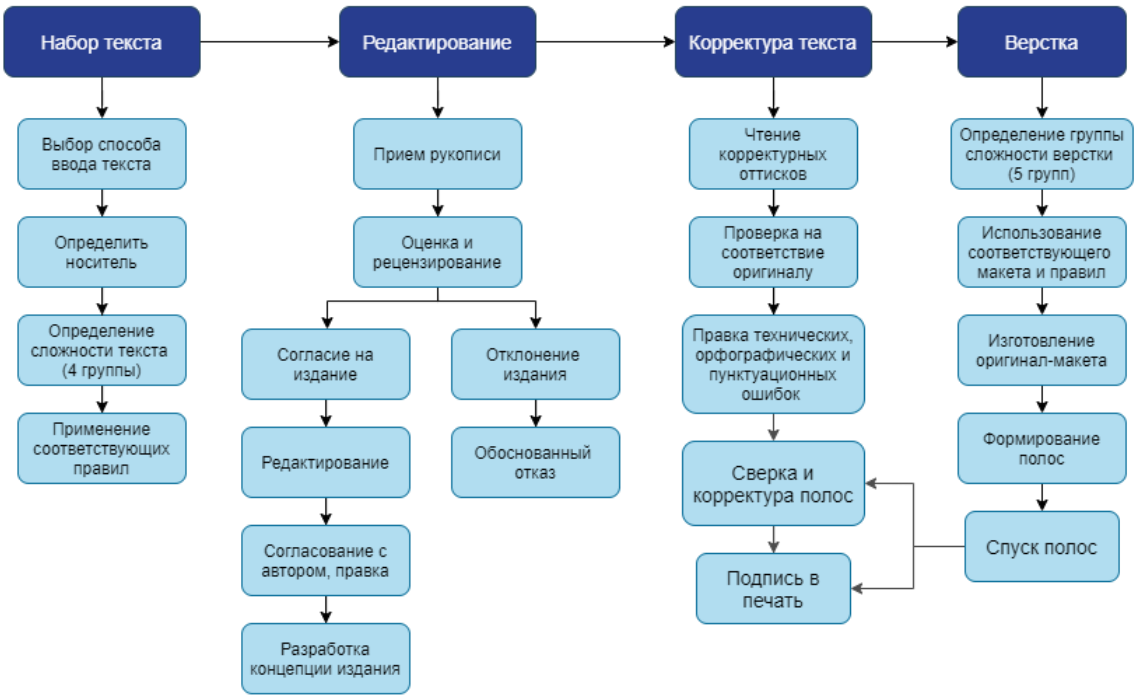


Рис. 2 – Фрагмент структурной схемы работ по обработке текста

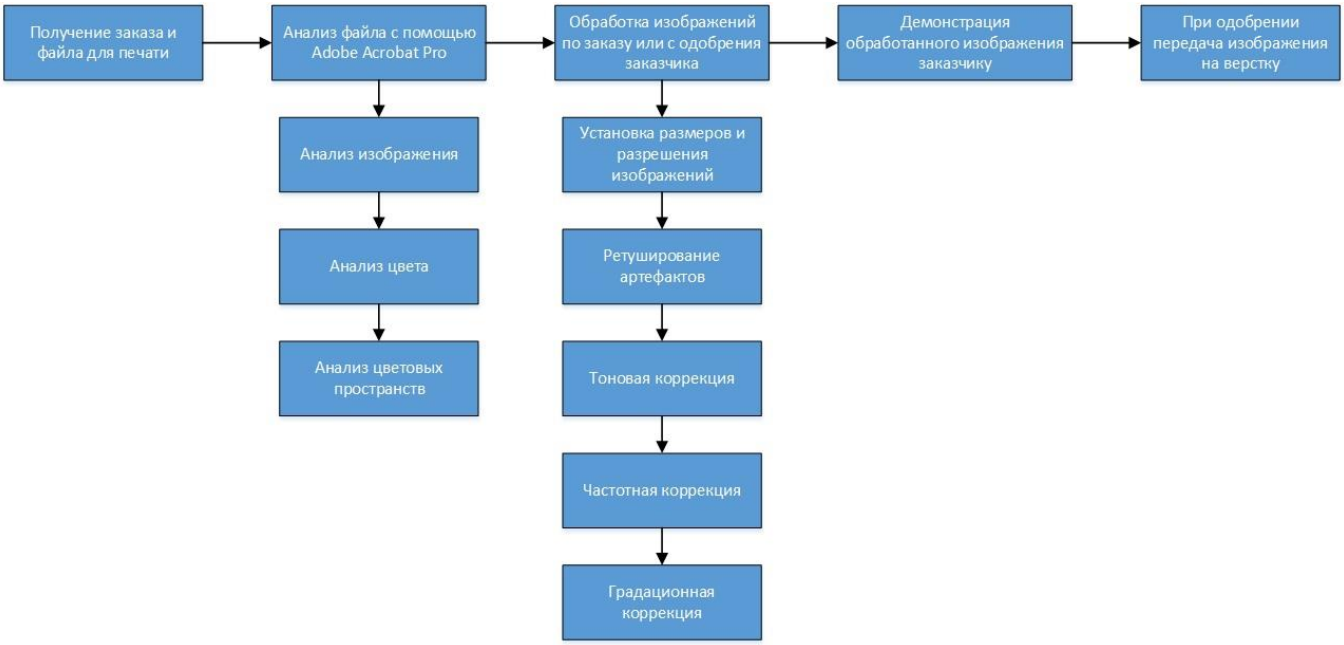


Рис. 3 – Фрагмент структурной схемы работ по обработке иллюстраций

Рис. 4 – Фрагмент структурной схемы работ по верстке издания

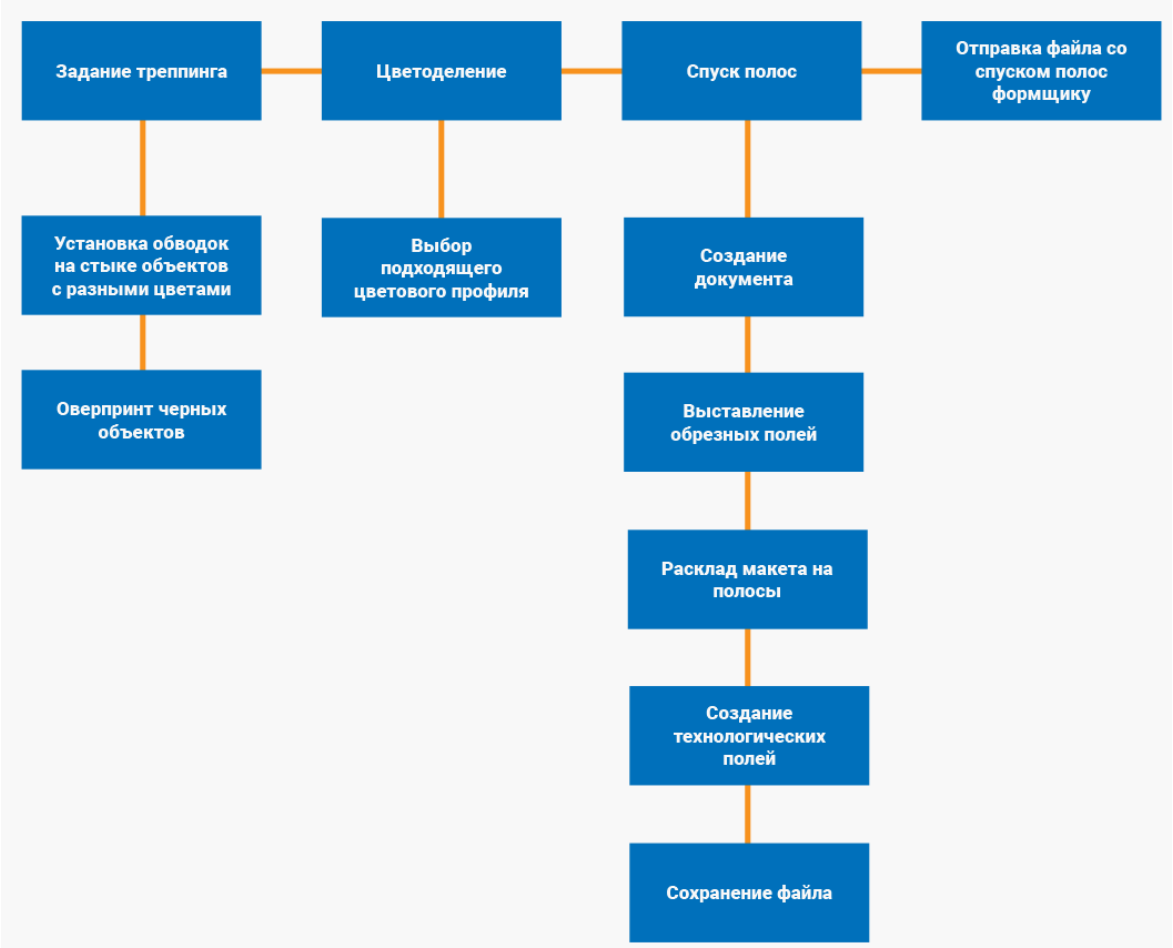


Рис. 5 – Фрагмент структурной схемы работ по препрессу

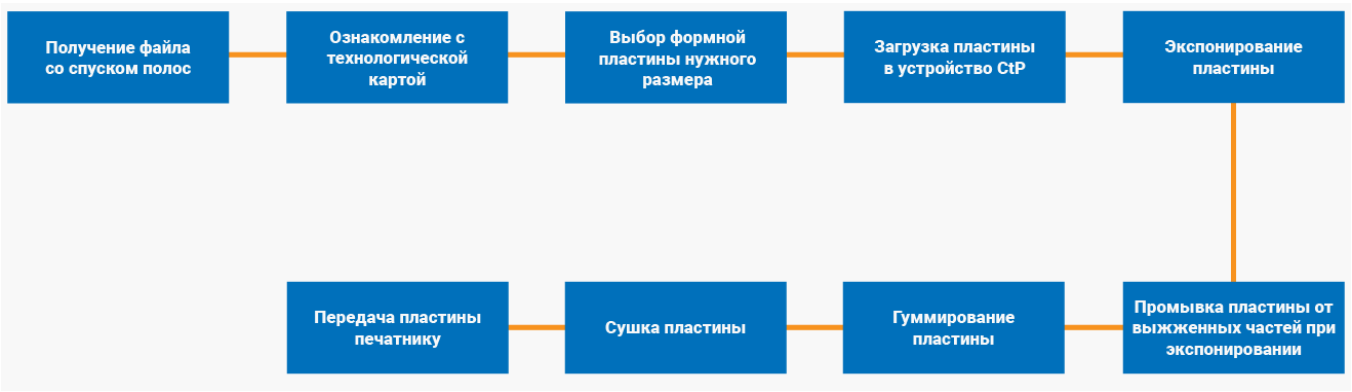


Рис. 6 – Фрагмент структурной схемы работ по созданию печатных форм

На основе полученных результатов нами сделан вывод о том, что общая последовательность работ на допечатной подготовке стабильна и это позволяет создать структурную схему, описывающую весь процесс.

Условиями, влияющими на количество, последовательность работ и их продолжительность для конкретного издания, являются такие факторы как: тип издания; характеристики издания (формат, цветность и пр.); материалы для изготовления; количество исходных материалов; качество исходных материалов; технология изготовления.

Следовательно, соединив воедино дерево работ и дерево условий можно получить плановый график допечатной подготовки издания.

Перспективным направлением исследований по планированию допечатной подготовки видится формализация влияния различных условий на трудоемкость работ.

Заключение

В процессе исследования деятельности типографий в допечатной подготовке было выявлено, что для различных изданий используются схожие технологические цепочки. Отличия заключаются в том, что работы отличаются по длительности (вплоть до нуля) в зависимости от условий их выполнения — типа издания, объема и сложности исходных материалов, характеристик издания, технологии изготовления издания. Следовательно, для разработки методики планирования допечатной подготовки необходимо создать дерево работ и дерево условий выполнения этих работ. Обход дерева работ даст последовательность их выполнения, а на основании дерева условий выполнения работ можно определять ее длительность. Что, собственно, и будет являться плановым графиком допечатной подготовки издания.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Аникьева, М.А. Допечатные процессы и оборудование / М.А. Аникьева. – Красноярск: ИПК СФУ, 2009. – 156 с.
2. Демьянов, О.В. Автоматизация полиграфического производства с файлами JDF / О.В. Демьянов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – №12. – С.261–263.
3. Тарасов, В.Н. Автоматизация процесса допечатной подготовки издания / В.Н. Тарасов, В.В. Чекрыгина, В.Н. Шестобитова // Вестник Самарского государственного технического университета. – 2013. – №1. – С.34–41.
4. Назарова, С.А. Поддержка принятия решений по выбору программно-технических средств верстки издания / С.А. Назарова // Научные труды Винницкого национального технического университета. – 2015. – №3. – С.46–54.
5. Чебыкина, Д.А. Особенности автоматизации процесса верстки печатного издания / Д.А. Чебыкина // Альманах научных работ молодых ученых университета ИТМО: XLVII научная и учебно-методическая конференция университета ИТМО. – 2018. – С.310–311.
6. Иванов, М.В. Автоматизированная система комплексной оценки квалификации специалистов полиграфического производства / М.В. Иванов // Вестник МГУП им. Ивана Федорова. – 2011. – №8. – С.157–163.
7. Михайлов, С. Основы дизайна / С. Михайлов, Л. Кулеева. – Казань: «Новое знание», 1999. – 240 с.
8. Волкова, Л.А. Технология обработки текстовой информации. Технологический дизайн / Л.А. Волкова, Е.Р. Решетникова. – М.: Изд-во МГУП, 2007. – 344 с.
9. Пикок, Д. Основы издательского дела / Д. Пикок. – М.: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016.
10. Оливьери, Р. Формные процессы в офсетной печати / Р. Оливьери. – Гатчина: Издательство СЦДБ, 2003. – 32 с.
11. Феличи, Д. Типографика / Д. Феличи. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 496 с.
12. Киппхан, Г. Энциклопедия по печатным средствам информации / Г. Киппхан. – М.: МГУП, 2003. – 1280 с.
13. О'Квин, Д. Допечатная подготовка. Руководство дизайнера / Д. О'Квин. – М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2001.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Anikieva, M.A. Dopechatnye processy i oborudovanie [Prepress processes and equipment] / M.A. Anikieva. – Krasnoyarsk: IPK SFU, 2009. – 156 p. [in Russian]
2. Dem'yanov, O.V. Avtomatizaciya poligraficheskogo proizvodstva s fajlami JDF [Automation of printing production with JDF files] / O.V. Dem'yanov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Proceedings of the Tula State University. Technical sciences]. – 2019. – №12. – p. 261–263. [in Russian]
3. Tarasov, V.N. Avtomatizaciya processa dopechatnoj podgotovki izdaniya [Automation of the process of prepress preparation of the publication] / V.N. Tarasov, V.V. CHekrygina, V.N. SHestobitova // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Samara State Technical University]. – 2013. – №1. – p.34–41. [in Russian]
4. Nazarova, S.A. Podderzhka prinyatiya reshenij po vyboru programmno-tekhnicheskih sredstv verstki izdaniya [Support for decision-making on the choice of software and technical means of publishing layout] / S.A. Nazarova // Nauchnye trudy Vinnickogo nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Samara State Technical University]. – 2015. – №3. – p.46–54. [in Russian]
5. CHebykina, D.A. Osobennosti avtomatizacii processa verstki pechatnogo izdaniya [Features of automation of the process of layout of printed publications] / D.A. CHebykina // Al'manah nauchnyh rabot molodyh uchenyh universiteta ITMO: XLVII nauchnaya i uchebno-metodicheskaya konferenciya universiteta ITMO [Almanac of scientific works of young scientists of ITMO University: XLVII Scientific and educational-methodical conference of ITMO University]. – 2018. – p.310–311. [in Russian]
6. Ivanov, M.V. Avtomatizirovannaya sistema kompleksnoj ocenki kvalifikacii specialistov poligraficheskogo proizvodstva [Automated system of complex assessment of qualification of specialists of polygraphic production] / M.V. Ivanov // Vestnik MGUP im. Ivana Fedorova. – 2011. – №8. – p.157–163. [in Russian]
7. Mihajlov, S. Osnovy dizajna [Osnovy designa] / S. Mihajlov, L. Kuleeva. – Kazan': «Novoe znanie», 1999. – 240 p. [in Russian]
8. Volkova, L.A. Tekhnologiya obrabotki tekstovoj informacii. Tekhnologicheskij dizajn [Technology of text information processing. Technology design] / L.A. Volkova, E.R. Reshetnikova. – M.: MGUP Publishing house, 2007. – 344 p. [in Russian]
9. Pikok, D. Osnovy izdatel'skogo dela [Fundamentals of publishing] / D. Pikok. – M.: Nacional'nyj Otkrytyj Universitet «INTUIT», 2016. [in Russian]
10. Oliv'eri, R. Formnye processy v ofsetnoj pechati [Plate process offset printing] / R. Oliv'eri. – Gatchina: SCDB, 2003. – 32 p. [in Russian]
11. Felichi, D. Tipografika [Tipografika] / D. Felichi. – SPb.: BHV-Peterburg, 2004. – 496 p. [in Russian]
12. Kipphan, G. Enciklopediya po pechatnym sredstvam informacii [Encyclopedia of printed media] / G. Kipphan. – M.: MGUP, 2003. – 1280 p. [in Russian]
13. O'Kvin, D. Dopechatnaya podgotovka. Rukovodstvo dizajnera [Prepress preparation. Designer's Guide] / D. O'Kvin. – M.: OOO «I. D. Vil'yams», 2001. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.006

АНАЛИЗ ПИЩЕВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА ХАССП/МС ИСО 22000:2005 В ПРОИЗВОДСТВЕ КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА

Научная статья

Бектібай Б.Ж.[1], Болат Ж.Б.[2, *]

[1, 2] Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

* Корреспондирующий автор (zhanayna.bolat[at]mail.ru)

Аннотация

В настоящее время основным и ведущим стандартом в области безопасности пищевых продуктов является ISO 22000:2005 "система управления безопасностью пищевых продуктов". Рассмотрены основные элементы ISO 22000: 2005. В разрабатываемом плане ХАССП должны быть четко определены корректирующие действия, которые должны быть приняты незамедлительно в случае превышения значений его показателей для конкретных критических контрольных точек над установленными пределами. Дан анализ возможных опасных факторов при производстве кисломолочной продукции. Использовались в качестве критериев оценки биологических, химических и физических рисков. Представленные в эксплуатацию системы анализа опасных факторов на основе стандарта МС ХАССП ИСО 22000-2005 и появление критических контрольных точек и кисломолочных продуктов при их производстве позволяют выявить наиболее вероятные пути и технологические этапы устранения возможных рисков.

Ключевые слова: кисломолочный напиток, критические контрольные точки, пищевая безопасность, технология, опасные факторы.

FOOD SAFETY ANALYSIS BASED ON THE HACCP / MS ISO 22000: 2005 STANDARD IN THE PRODUCTION OF FERMENTED MILK PRODUCTS

Research article

Bektibay B.Zh.[1], Bolat Zh.B.[2, *]

[1, 2] Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

* Corresponding author (zhanayna.bolat[at]mail.ru)

Abstract

Currently, the main and leading standard in the field of food safety is ISO 22000: 2005 "Food Safety Management System". The study examines the main elements of ISO 22000: 2005. The HACCP plan that is being developed should clearly define the corrective actions that should be taken immediately if the values of its indicators for specific critical control points exceed the established limits. The article also conducts an analysis of possible dangerous factors in the production of fermented milk products with the assessments of biological, chemical, and physical risks used as criteria. The systems of hazard analysis based on the MS HACCP ISO 22000-2005 standard and the appearance of critical control points and fermented milk products during their production allow for identifying the most likely ways and technological stages of eliminating possible risks.

Keywords: fermented milk drink, critical control points, food safety, technology, dangerous factors.

Введение

Использование биологически полноценных продуктов питания в питании человека способствует увеличению средней продолжительности жизни, длительному сохранению физического и духовного здоровья, активной жизни в пожилом возрасте и рождению здорового потомства.

С точки зрения физиологии питания большую пищевую ценность для человека имеют кисломолочные продукты. Наиболее перспективным направлением является усиление функциональной направленности этих продуктов путем использования в их производстве определенных видов и штаммов дрожжей и других микроорганизмов и ингредиентов. Однако в кисломолочных продуктах, помимо полезных микроорганизмов, могут обнаруживаться опасные болезнетворные бактерии, посторонние частицы, способные нарушить безопасность товара.

Безопасность и качество кисломолочных продуктов являются приоритетными для производителей, торговых компаний и потребителей. Определение уровня безопасности кисломолочных продуктов связано с наличием в них опасных факторов. Воздействие опасных факторов на кисломолочные продукты может происходить на любом этапе их производства, транспортировки и реализации, поэтому очень важно контролировать все этапы процесса. Безопасность кисломолочных продуктов, в том числе наполнителей, определяется в соответствии с установленными микробиологическими нормами [1]. С вступлением Республики Казахстан в ВТО (Всемирная торговая организация) [2] повышается ответственность отечественных пищевых предприятий в повышении качества выпускаемой и конкурентоспособной продукции. Если местный производитель не может обеспечить аналогичный вкус и безопасность пищевых продуктов, импортные продукты питания могут занять значительную долю рынка продаж.

В связи с этим основным и ведущим стандартом в области безопасности пищевых продуктов является ISO 22000:2005 "система управления безопасностью пищевых продуктов" [3]. Основные элементы ISO 22000:2005 включают в себя:

- выполнение законодательных и регулирующих требований;
- обмен информацией внутри организации и вдоль пищевой цепи;
- Требования ISO 9001: 2000;
- Реализация принципов HACCP (или ХАССП) на русском языке);
- заранее ввести необходимые программы.

Наиболее приемлемой формой системы управления качеством и обеспечения безопасности для предприятий пищевой, в частности молочной промышленности, является система, основанная на принципах ХАССП, поскольку предполагает непосредственную организацию контроля качества и безопасности продукции в процессе производства [4].

Внедрение системы контроля ХАССП особенно актуально на молочных предприятиях в связи с некоторыми особенностями этого сырья. Во-первых, молоко — это продукт животного происхождения. Во-вторых, способы его хранения и производства молочных продуктов отличаются от других видов пищи.

ХАССП или система HACCP (на английском языке)" HazardAnalysis and Critical ControlPoints " (анализ рисков и критические контрольные точки) - простая и логичная система контроля, основанная на концепции предотвращения проблем за счет выявления угроз, установления критических контрольных точек и мониторинга, разработки превентивных и корректирующих мер. Он должен быть разработан с учетом семи основных принципов:

1. провести анализ возможных рисков.
2.Определение критических контрольных точек (ККТ).
3. установление критических пределов для ККТ.
4. Установка системы мониторинга для контроля в ККТ.
5. установление корректирующих действий.
6. установление процедур проверки.
7.установление принципов ведения записей и документации.

Для получения кисломолочных напитков используют цельное и обезжиренное молоко, сливки, сгущенное и сухое молоко, казеинат натрия, кефир и другое молочное сырье, а также солодовый экстракт, сахар, фруктовые сиропы, джемы, корицу и др.

Технологический процесс производства кисломолочных напитков резервуарным способом состоит из следующих технологических операций: подготовка сырья, нормализация, пастеризация, гомогенизация, охлаждение, брожение в специальных емкостях, охлаждение сгустка, созревание сгустка (кефир, кумыс), упаковка. На каждом этапе производства кисломолочного напитка существует риск выявления риска.

Система ХАССП для кисломолочных продуктов должна учитывать все категории потенциального риска: биологические, химические и физические риски.

К биологическим рискам относятся риски, возникающие при воздействии живых организмов, в том числе микроорганизмов (Salmonella, Escherichiacoli0157:H7 и др.), простейших, паразитов и др., Их токсинов и продуктов жизнедеятельности [4].

Химические опасности можно разделить на три группы в зависимости от источника происхождения.

1.химикаты, случайно попавшие в пищу.

а) сельскохозяйственные химикаты: пестициды, гербициды, регуляторы роста растений и др.;

б) химикаты, применяемые на предприятиях: чистящие, моющие и дезинфицирующие средства, смазочные масла и др.;

в) заражение из внешней среды: свинец, мышьяк, кадмий, ртуть и др.

2. факторы риска, возникающие естественным образом. Растительные, животные или микробные продукты метаболизма, такие как афлатоксины.

3.химикаты, намеренно добавленные в пищу. Консерванты, кислоты, пищевые добавки, вещества, облегчающие переработку и др.

Физические риски связаны с наличием в пищевых продуктах любого физического материала, который не находится в естественном состоянии и может причинить боль или вред человеку, употребляющему эти пищевые продукты (стекло, металл, пластик и т. д.) [5].

Целью исследования является анализ потенциально опасных факторов при производстве кисломолочных продуктов.

Объекты и методы исследования

Исследуемый кисломолочный напиток обладает биологической ценностью, витаминной активностью, высоким содержанием микронутриентов, обладает пробиотическими и пребиотическими свойствами [6], [7].

Сырьевые компоненты в производстве кисломолочного напитка:

- Молоко коровье, изготовляемое по ГОСТ 31449-2013;
- бактериальный препарат "Бифидум - бактерин", состоящий из бифидобактерий bifidobacteriumlongum или Bifidobacteriumbi-fidum и молочнокислых бактерий *Lactococ-cuslactissubsp*. *Streptococcussalivariussubsp* включен или не включен diacetilactis. по thermophilus ту 49 1016-85;
- Закваска, состоящая из чистых молочных культур *Lactobacillusacidophilus, Streptococcusthermophilus*;
- Мука пшеничная, выращенная по ГОСТ 9353-90;
- Мед по ГОСТ 19792-2001;
- ваниль по ГОСТ 16599-71.

В представленной работе были использованы основные положения системы управления безопасностью пищевых продуктов ISO 22000:2005. Требования к любым организациям в пищевой цепи [3].

Результаты и их обсуждение

В представленной работе проведен анализ потенциально опасных факторов при производстве кисломолочных продуктов. В качестве источника опасности были проанализированы все этапы производства: прием, хранение, пастеризация, брожение, брожение, розлив, упаковка, хранение и транспортировка сырья. Обобщенные результаты работы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Анализ опасных факторов производства кисломолочного напитка

№ название операции	Параметры процесса	Учитываемые факторы	Контролируемые симптомы	Примечания	Ответственное лицо
1. Прием сырого молока	Кислотность <18^{0}Т	Микробиологический	а) бактерии группы кишечной палочки (БГКП), б) патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы в) ингибиторы, г) токсичные элементы д) афлатоксины, е) антибиотики.	Контроль при приеме	Заведующий лабораторией
		Химический	а) ингибиторы б) токсичные элементы, в) афлатоксины, г) антибиотики.	Входной контроль	Заведующий лабораторией
2. Промежуточное хранение молока	Т<+4^{0}С Длительность< 12ч	Микробиологический	Условия хранения вынос сбережение опасных бактерий. Температура, продолжительность, кислотность	Контроль режима хранения	Мастер цеха
3. Пастеризация	Т= 85÷87 ^{0}С 5-10 мин экспозиции	Микробиологический	Если температура не поддерживается, может возникнуть: а) бактерии группы кишечная палочка (БГКП), б) патогенные микроорганизмов сальмонелла внутри	Контроль режима пастеризации молока	Лаборант-микробиолог
4. Заквашивание	молоко охлажденное до 18÷25 ^{0}С	Микробиологический	Закваска, бактерии группы кишечной палочки	Создание асептических условий для устранения ударных действий	Мастер цеха
5. Брожение	Т=23÷250С	Микробиологический	Температура Кислотность закваски продолжительность, БГКП	Контроль режима брожения	Мастер цеха
6. Созревание	Продолжительность созревания 6÷10 ч	Микробиологический	Кислотность свертывания, БГКП, стрептококктар молочной кислоты, палочек и дрожжей	Контроль режима созревания. Контроль температурно-временного режима	Лаборант-микробиолог
7. Розлив, упаковка и маркировка	Т=60С	Микробиологический Физический	Бактерии группы кишечной палочки посторонние примеси металлические части оборудования	Создание асептических условий. Применение металлоискателя	Мастер цеха

Технологическая схема получения кисломолочного напитка для определения возможных ККТ (критических контрольных точек) представлена на рис.1.

Следующие технологические процессы: этапы приемки сырого молока, пастеризация молока, брожение отнесены к ККТ, которые должны контролироваться и контролироваться для минимизации или исключения возможных рисков (табл. 2).

В качестве основных критериев для оценки ККТ были приняты изменения температуры во времени. Строгий мониторинг и корректирующие действия технологических режимов обеспечивают снижение степени риска при производстве опасных кисломолочных продуктов.

Таблица 2 – Действия по оценке и контролю риска в ККТ при производстве кисломолочной продукции

ККТ	Риск(риск)	Контрольные действия	Степень риска
ККТ1	Прием сырого молока	Т = 4±20С температура хранения молока. Отсутствие тяжелых металлов, антибиотиков, афлатоксинов.	Высшее
ККТ 2	Пастеризация молока	Соблюдение строго ограниченной температуры пастеризации Т = 85÷870с закалка 5-10 мин	Высшее
ККТ 3	Брожение	Контроль температуры брожения Т=23/250 С и контроль времени брожения.	Высшее

Заключение

Таким образом, проведен анализ возможных рисков при производстве кисломолочного напитка, определены, во-первых, потенциальные ККТ (критические контрольные точки) с учетом биологических, химических и физических рисков. Во-вторых, в качестве контрольных действий были приняты изменения температурных режимов в технологических процессах. В-третьих, установлена система мониторинга контроля и корректирующих действий. Использование предложенной системы анализа опасных факторов на основе стандарта ХАССП/МС ИСО 22000:2005 при производстве кисломолочных продуктов позволяет определить технологические этапы возникновения рисков и пути их устранения.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Малыгина В.Д. Оценка безопасности кисломолочных продуктов повышенной биологической ценности / В.Д. Малыгина, К.А. Антошина, Л.Е. Лисовская // Научный журнал НИУ ИТМО. -2015. -№3.-С.1-5.

2. Казахстан и ВТО. – [Электронный ресурс]. – URL: http://wto.gov.kz/ru/kazwto/ (дата обращения: 12.04.2021)

3. ISO 22000:2005 Системы менеджмента безопасности пищевых продуктов. Требования к любым организациям в продуктовой цепи. – [Электронный ресурс]. – URL: http:// www.iso.org/iso/ru/catalogue_detail?csnumber=3546 6 (дата обращения: 12.04.2021)

4. Чудакова Е.А. ХАССП – как систематический подход к идентификации, оценке и контролю безопасности пищевых продуктов в молочной промышленности / Е.А. Чудакова, Е.И. Рыжков // Журнал "Новые технологии". - 2015. - № 2. - С.29-37.

5. Основные принципы системы ХАССП. – [Электронный ресурс]. – URL: http:// www.haccp-control.ru/принципы-системы-хассп. html (дата обращения: 12.04.2021)

6. Утебаева А.А. Разработка кисломолочного продукта с функциональными пищевыми добавками / А.А. Утебаева, А.Р. Бахтыбекова, Р.С. Алибеков и др. // Журнал "Новые технологии"-2016.-№2.-С.33-39.

7. Инновационный патент РК №92852 «Способ получения кисломолочного продукта» / Р.С. Алибеков, Ж.У. Мырхалыков, К.А. Уразбаева и др.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Malygina V. D. Ocenka bezopasnosti kislomolochnykh produktov povyshennojj biologicheskojj cennosti [Safety Assessment of Fermented Milk Products of Increased Biological Value] / V. D. Malygina, K. A. Antoshina, L. E. Lisovskaya // Nauchnyjj zhurnal NIU ITMO [Scientific journal NRU ITMO]. -2015. -№3, pp.1-5 [in Russian]

2. Kazakhstan and the WTO. – [Electronic resource]. URL:http://wto.gov.kz/ru/kazwto/ (accessed: 12.04.2021) [in Russian]

3. ISO 22000: 2005 Sistemy menedzhmenta bezopasnosti pishhevykh produktov. Trebovanija k ljubym organizacijam v produktovojj cepi [Food Safety Management Systems. Requirements for Any Organizations in the Food Chain] [Electronic resource]. URL:http:// www.iso.org/iso/ru/catalogue_detail?csnumber=3546 6 (accessed: 12.04.2021) [in Russian]

4. Chudakova E. A. KhASSP – kak sistematicheskijj podkhod k identifikacii, ocenke i kontrolju bezopasnosti pishhevykh produktov v molochnojj promyshlennosti [Haccp as a Systematic Approach to the Identification, Assessment and Control of Food Safety in the Dairy Industry] / E. A. Chudakova, E. I. Ryzhkov // Zhurnal "Novye tekhnologii" [New Technologies]. - 2015. - № 2, pp.29-37 [in Russian]

5. Osnovnye principy sistemy KhASSP [Basic Principles of the Haccp System]. – [Electronic resource]. URL: http:// www.haccp-control.ru/принципы-системы-хассп.html (accessed: 12.04.2021) [in Russian]

6. Utebaeva A. A. Razrabotka kislomolochnogo produkta s funkcional'nymi pishhevymi dobavkami [Development of a Fermented Milk Product With Functional Food Additives] / A. A. Utebaeva, A. R. Bakhtybekova, R. S. Alibekov et al. // Zhurnal "Novye tekhnologii" [New Technologies] -2016. - No. 2. - pp. 33-39 [in Russian]

7. Pat. No. 92852, The Republic of Kazakhstan Sposob poluchenija kislomolochnogo produkta [Method for producing fermented milk product] / Alibekov R. S., Myrhalykov Zh. U., Urazbaeva K. A., et al. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.007

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РАДИОСИСТЕМ САМОНАВЕДЕНИЯ ПРИ НАВЕДЕНИИ МЕТОДОМ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ

Научная статья

Буренко Е.А.*
ORCID: 0000-0003-0660-0843;
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (super.evgeny-burenko2012[at]yandex.ru)

Аннотация

Разработана математическая модель контура управления для радиосистемы самонаведения крестокрылой управляемой ракеты класса «воздух-воздух» средней дальности при наведении на цель методом пропорциональной навигации (пропорционального наведения). Проведено математическое моделирование процессов наведения ракеты на воздушную цель, совершающую манёвр с заданной нормальной перегрузкой. В модели учтены угловые искажения, вносимые антенным обтекателем ракеты. Представлены результаты по оценке точности наведения ракеты с моноимпульсным суммарно-разностным пеленгатором, полученные на математической модели в результате статистического моделирования процессов наведения при действии флюктуаций углового шума воздушной цели. Представлены смоделированные траектории движения носителя, ракеты и цели в плоскости наведения, а также основные фазовые переменные модели, характеризующие процесс наведения.

Ключевые слова: радиосистема самонаведения, моноимпульсный пеленгатор, контур управления, метод пропорциональной навигации, математическое моделирование.

A SIMULATION OF A CONTROL LOOP FOR RADIO HOMING SYSTEMS VIA PROPORTIONAL NAVIGATION GUIDANCE

Research article

Burenko E.A.*
Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

* Corresponding author (super.evgeny-burenko2012[at]yandex.ru)

Abstract

The current study develops a mathematical model of the control loop for the radio homing system of a medium-range cruciform-wing guided air-to-air missile when aiming at a target by the method of proportional navigation (proportional guidance). The author carries out a mathematical simulation of the processes of aiming a missile at an air target performing a maneuver with a given normal acceleration. The model takes into account the angular distortions introduced by the aerial fairing of the rocket. The article presents the results on the estimation of the accuracy of the missile guidance with a monopulse Sigma Delta direction finder obtained on a mathematical model as a result of statistical modeling of the guidance processes under the influence of fluctuations in the angular noise of the air target. The simulated trajectories of the carrier, missile, and target in the guidance plane are presented with the main phase variables of the model that characterize the guidance process.

Keywords: radio homing system, monopulse direction finder, control loop, proportional navigation method, mathematical modeling.

В настоящее время широкое развитие вычислительной и компьютерной техники позволяет производить математическое моделирование различных процессов в режиме реального времени. Целью настоящей статьи является разработка математической модели контура управления для радиосистемы самонаведения крестокрылой управляемой ракеты класса «воздух-воздух» средней дальности при наведении на цель методом пропорциональной навигации с визуальным отображением траекторий движения носителя, ракеты и цели в плоскости наведения.

Одним из наиболее мощных и эффективных средств моделирования различных систем и процессов является среда компьютерной алгебры MathCAD, в которой разработана модель контура управления. Для моделирования был использован математический аппарат дифференциальных уравнений и эквивалентный ему аппарат функциональных схем. Структура и блоки подробной математической модели контура управления, представленные своими дифференциальными уравнениями в правильной форме Коши, приводятся далее в основной части работы. Моделирование по оценке точности наведения ракеты проводилось при условии отсутствия помех и при воздействии на контур управления случайных флюктуаций углового шума цели.

Математическая модель контура управления

Рассматривается процесс самонаведения в стартовой системе координат $OX_{ст}Z_{ст}$, невращающейся подвижной, в центре которой находится ракета, именуемая далее, как «управляемый объект» (УО). При этом рассматривается только один канал управления (канал курса) при движении в горизонтальной плоскости [1, С. 134], [2, С. 239]. Соответствующие геометрические соотношения представлены на рис. 1, где:

$V_Ц$ – вектор скорости цели,

$V_{УО}$, $X_{УО}$ – вектор скорости и строительная (продольная) ось управляемого объекта,

$X_{ант}$ – ось антенны головки самонаведения управляемого объекта (соответствует равносигнальному направлению диаграммы направленности антенны), которая следит за целью,

r – линия визирования (вектор дальности, соединяющий управляемый объект и цель),

$J_Ц$ – вектор ускорения цели,

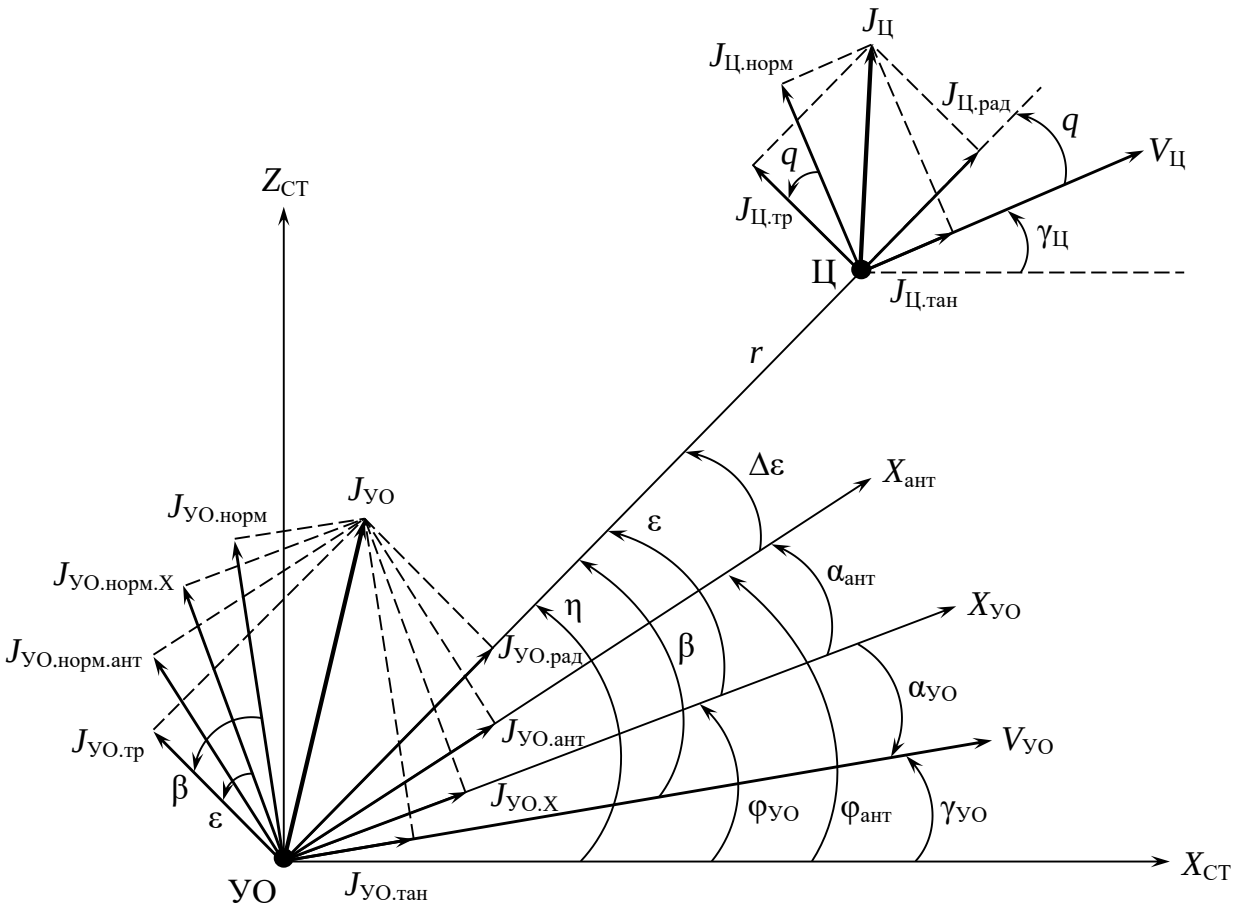


Рис. 1 – Геометрические соотношения при самонаведении в стартовой системе координат

$J_{Ц.рад}$, $J_{Ц.тр}$ – радиальная и трансверсальная составляющие вектора ускорения цели,

$J_{Ц.тан}$, $J_{Ц.норм}$ – тангенциальная и нормальная составляющие вектора ускорения цели,

$J_{УО}$ – вектор ускорения управляемого объекта,

$J_{УО.рад}$, $J_{УО.тр}$ – радиальная и трансверсальная составляющие вектора ускорения управляемого объекта,

$J_{УО.Х}$, $J_{УО.ант}$ – проекции вектора ускорения управляемого объекта на его продольную ось $X_{УО}$ и ось следящей антенны головки самонаведения (ГСН) $X_{ант}$,

$J_{УО.тан}$, $J_{УО.норм}$ – тангенциальная и нормальная составляющие вектора ускорения управляемого объекта,

$J_{УО.норм.Х}$, $J_{УО.норм.ант}$ – составляющие вектора ускорения управляемого объекта, перпендикулярные (нормальные) его строительной оси $X_{УО}$ и оси антенны ГСН $X_{ант}$,

$\gamma_Ц$, $\gamma_{УО}$ – углы векторов скорости цели и управляемого объекта соответственно (курсовые углы цели и УО),

η – угол линии визирования, соединяющей управляемый объект и цель,

$q = \eta - \gamma_Ц$, $\beta = \eta - \gamma_{УО}$ – углы между линией визирования r и векторами скоростей цели и управляемого объекта соответственно (углы упреждения цели и УО),

$\varphi_{УО}$, $\alpha_{УО}$ – углы поворота строительной оси (рысканья) и скольжения (атаки) соответственно управляемого объекта,

$\varphi_{ант}$, $\alpha_{ант}$ – углы поворота (рысканья) и разворота соответственно следящей антенны ГСН управляемого объекта,

ε – угол между продольной осью управляемого объекта $X_{УО}$ и линией визирования r (угол пеленга цели),

$\Delta\varepsilon$ – ошибка слежения по углу, которая определяется, как угол между направлением оси следящей антенны ГСН $X_{ант}$ и направлением линии визирования цели r.

Направления отсчёта углов против часовой стрелки считаются положительными.

Модель контура управления создаётся с учётом:

- модели движения цели;
- модели движения ракеты;
- модели измерительного устройства;
- модели устройства формирования и передачи команд управления;
- модели относительного движения ракеты и цели.

В контуре управления все перечисленные модели образуют отдельные звенья.

Модель относительного движения ракеты и цели (уравнения кинематической связи ракеты с целью) составляется исходя из проецирования векторов скоростей ракеты (управляемого объекта) и цели на линию визирования r и на нормаль к ней, что иллюстрируется рис. 2.

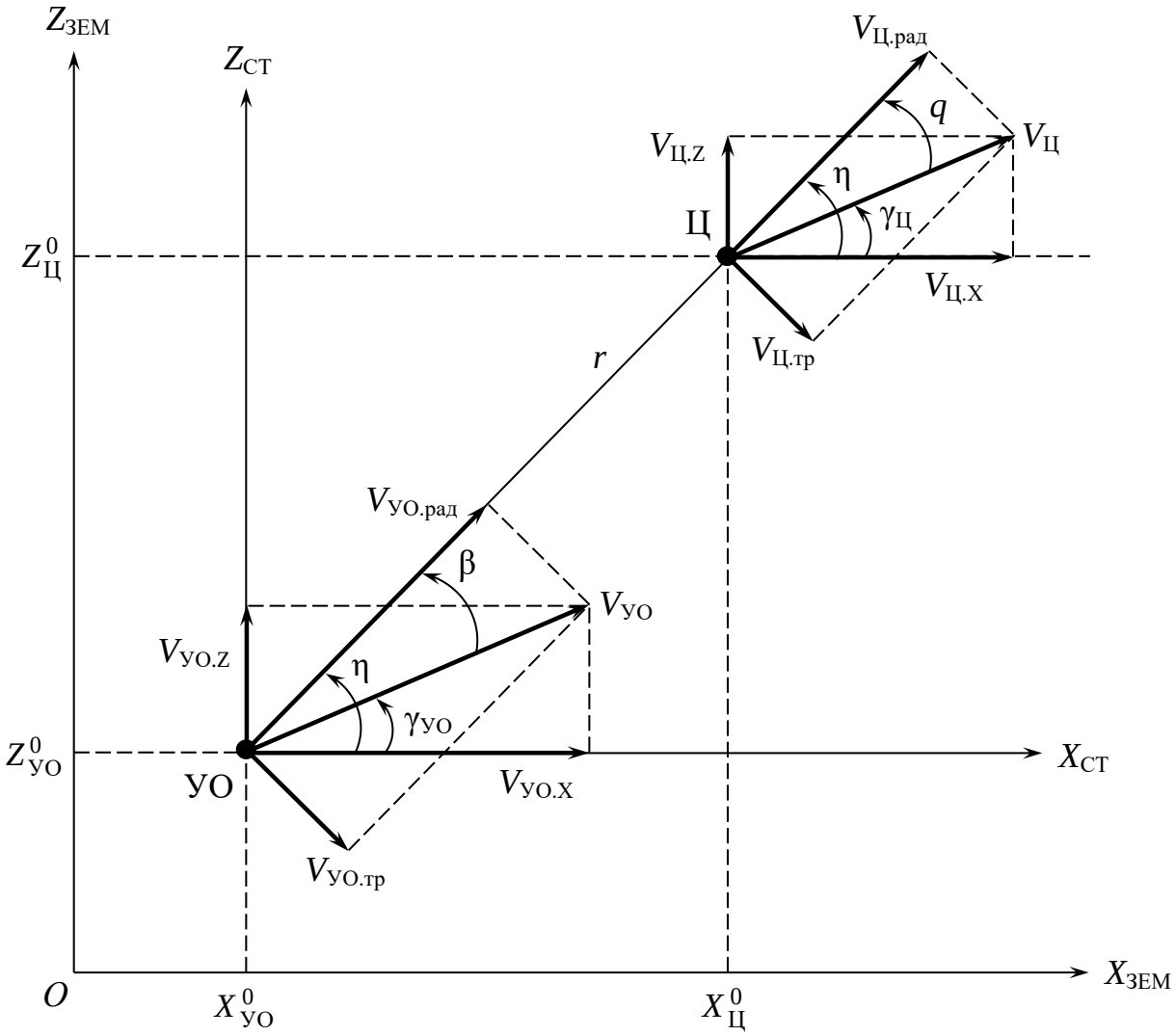


Рис. 2 – Формирование проекций векторов скоростей управляемого объекта и цели в плоскости наведения в земной системе координат

При этом образуются радиальные ($V_{УО.рад}$, $V_{Ц.рад}$) и трансверсальные ($V_{УО.тр}$, $V_{Ц.тр}$) составляющие векторов скоростей (радиальная составляющая направлена вдоль линии визирования, трансверсальная – по нормали к ней). Тогда модель относительного движения ракеты и цели представляется двумя дифференциальными уравнениями:

$$\begin{cases} V_{УО}\cos(\eta-\gamma_{УО})-V_{Ц}\cos(\eta-\gamma_{Ц})=-\dot{r}, \\ V_{УО}\sin(\eta-\gamma_{УО})-V_{Ц}\sin(\eta-\gamma_{Ц})=r\dot{\eta}. \end{cases} \quad (1)$$

Для решения уравнений численным методом, они должны быть представлены в правильной форме Коши:

$$\begin{cases} \dot{r}=V_{Ц}\cos(\eta-\gamma_{Ц})-V_{УО}\cos(\eta-\gamma_{УО}), \\ \dot{\eta}=\dfrac{V_{УО}\sin(\eta-\gamma_{УО})-V_{Ц}\sin(\eta-\gamma_{Ц})}{r}. \end{cases} \quad (2)$$

В контуре управления полученные уравнения задают *кинематическое звено*. Начальные значения дальности r_0 от ракеты до цели и угла линии визирования η_0, соответствующие моменту времени отделения ракеты от носителя, определяются через начальные координаты ракеты $(X^0_{УО}, Z^0_{УО})$ и цели $(X^0_{Ц}, Z^0_{Ц})$ на момент отделения следующим образом (рис. 2):

$$r_0=\sqrt{(X^0_{Ц}-X^0_{УО})^2+(Z^0_{Ц}-Z^0_{УО})^2},$$

$$\eta_0 = \mathrm{arctg}\frac{Z_{Ц}^0 - Z_{УО}^0}{X_{Ц}^0 - X_{УО}^0},$$

и задаются в виде соответствующих начальных условий системы (2).

В процессе наведения ракеты на цель имеют место ошибки наведения, вызванные различными факторами.

В частности, ошибки наведения, вызванные инерционностью контура управления при наличии манёвров цели, характеризуются соотношением:

$$h_{\max} \approx \frac{1}{3} J_{Ц} \tau_3^2 \qquad (3)$$

где $h_{\max}$ – максимальное значение ошибки (промаха), вызванной манёвром цели с ускорением $J_Ц \approx n_Ц \cdot g$ (g = 9,81 м/с^2, $n_Ц$ – перегрузка цели), при наличии в системе управления запаздывания на время τ_3. Из (3) следует, что данная ошибка вызвана совместным действием двух факторов – манёвра цели и запаздывания. При отсутствии любого из этих факторов ошибка данного вида исчезает. В предположении, что цель движется с максимальной перегрузкой $n_Ц$ = 2 ед. п., а в системе управления имеет место временно́е запаздывание на $\tau_3 \approx 0{,}5$ сек, то ошибка $h_{\max}$ в соответствии с (3) составляет приблизительно 1,635 м. Среднеквадратическое отклонение (СКО) ошибки (промаха) обусловленной манёвром цели характеризуется соотношением:

$$\sigma_1 \approx \frac{1}{3} h_{\max} \qquad (4)$$

и составляет приблизительно 0,545 м.

На точность наведения могут оказывать влияние *угловые шумы* (вызванные случайными флюктуациями направления прихода сигнала) и *амплитудные шумы* (вызванные флюктуациями амплитуды отражённого от цели сигнала). На моноимпульсные системы самонаведения амплитудные шумы практически не оказывают влияния, поскольку компенсируются в суммарно-разностном канале принимаемого сигнала.

Ошибки наведения могут вноситься также и антенным обтекателем, закрывающим антенну ГСН. При прохождении радиолуча через антенный обтекатель направление прихода сигнала изменяется на угол ν. Зависимость ошибки ν от угла прихода сигнала ε называется *статической пеленгационной характеристикой* $\nu(\varepsilon)$. Конкретный её вид зависит от вида поляризации сигнала, и поэтому даже при полной симметрии антенного обтекателя ошибки в разных плоскостях будут различными. Статическая пеленгационная характеристика очень трудно поддаётся расчёту и определяется экспериментальным путём. При моделировании систем самонаведения можно полагать, что функция $\nu(\varepsilon)$ задана. В модели контура управления функция $\nu(\varepsilon)$ аппроксимируется полиномом второй степени в виде:

$$\nu(\varepsilon) = a_2\varepsilon^2 + a_1\varepsilon + a_0 \qquad (5)$$

где ε – угол пеленга (в градусах),

ν – ошибка, вносимая обтекателем (в угловых минутах),

$a_2 = -0{,}021$, $a_1 = -0{,}6$, $a_0 = 20{,}626$ – коэффициенты полинома (5).

График функции (5) представлен на рис. 3.

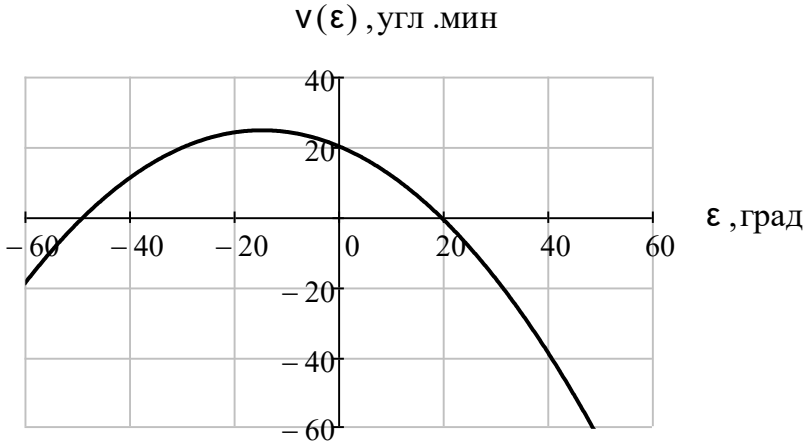


Рис. 3 – Статическая пеленгационная характеристика антенного обтекателя ракеты, аппроксимированная полиномом второй степени

Схема учёта ошибок, вносимых совместно антенным обтекателем и угловым шумом приведена на рис. 4.

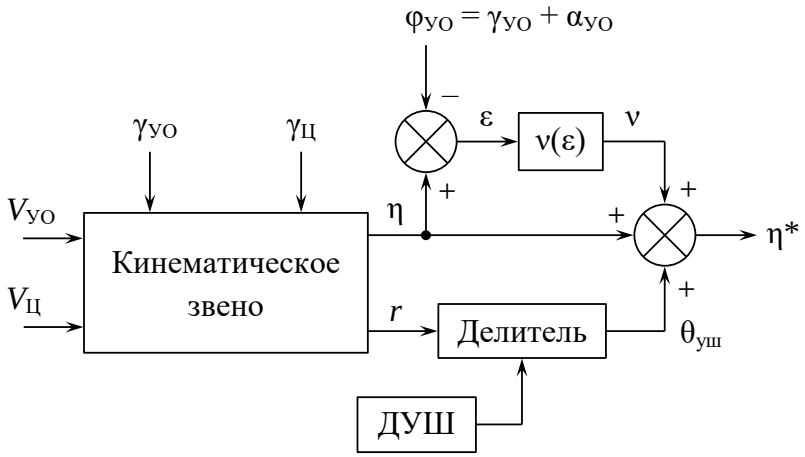


Рис. 4 – Схема учёта ошибок, вносимых антенным обтекателем ракеты и угловым шумом цели

Здесь ДУШ – датчик углового шума, генерирующий шум со спектральной плотностью

$$G_{\text{УШ}} = k_{\text{УШ}} L_{\text{Ц}}^2 \tag{6}$$

где $k_{\text{УШ}}$ – коэффициент пропорциональности, который для разных типов целей может меняться в пределах $k_{\text{УШ}}$ = 0,15 ÷ 0,33 град^2/Гц [2, С. 263],

$L_{\text{Ц}}$ – характерный размер цели.

Дисперсия величины промаха, обусловленная наличием углового шума цели, определяется как [2, С. 262]:

$$\sigma_2^2 \approx \frac{G_{\text{УШ}}}{\tau_{\text{УО}}} \tag{7}$$

где $\tau_{\text{УО}} \approx 3{,}098$ сек – аэродинамическая постоянная времени управляемого объекта (ракеты).

Для средней воздушной цели типа «истребитель» с эффективной площадью рассеяния (ЭПР) $\sigma_{\text{Ц}}$ = 3 м^2, протяжённость составляет $L_{\text{Ц}} \approx 10$ м, при этом дисперсия величины промаха в соответствии с (7) составляет $\sigma_2^2 \approx 6{,}456$ м^2, что соответствует СКО промаха $\sigma_2 \approx 2{,}541$ м. Таким образом, СКО суммарной ошибки составляет

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \approx 2{,}599 \text{ м.}$$

Данная ошибка учитывает только факторы, обусловленные характеристиками системы наведения, без учёта ошибок автопилота ракеты.

Конечной задачей наведения снаряда (ракеты) является поражение цели. В общем случае факт поражения рассматривается как случайное событие и оценивается некоторой условной вероятностью $P_{\text{пор}}$, определяемой как:

$$P_{\text{пор}} = \frac{kL_{\text{Ц}}^2}{L_{\text{Ц}}^2 + 2\sigma_{\Sigma}^2} \tag{8}$$

где $L_{\text{Ц}}$ = 10 м – характерный размер цели,

k = 95% = 0,95 – эффективность заряда боевой части ракеты.

Таким образом, в соответствии с (8) оцениваемая вероятность поражения цели составляет приблизительно 0,837, что является достаточно высоким статистическим показателем моделируемой системы наведения.

Для решения задачи самонаведения используются различные методы наведения, определяющие закон движения ракеты. Наиболее распространённым методом наведения ракет «воздух-воздух» с радиолокационными системами самонаведения является *метод пропорциональной навигации* (*пропорционального наведения*). Данный метод применяется для наведения ракет на быстродвижущиеся и маневрирующие цели [2, С. 28-29].

Структурная схема контура управления для метода пропорциональной навигации представлена на рис. 5.

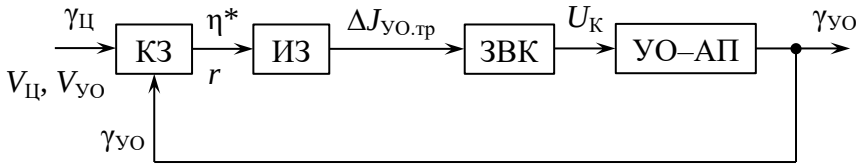


Рис. 5 – Структурная схема контура радиоуправления для метода пропорциональной навигации

В состав контура входят:

КЗ – кинематическое звено, ИЗ – измерительное звено, ЗВК – звено выработки и передачи команд управления, УО–АП – звено «управляемый объект – автопилот» (ракета с автопилотом).

Сущность метода пропорциональной навигации состоит в том, что при движении ракеты задаётся оптимальное (требуемое) значение трансверсального ускорения ракеты $J^{\text{опт}}_{\text{УО.тр}}(t)$. Закон управления вырабатывается через угловую скорость вращения линии визирования и имеет следующий вид:

$$J^{\text{опт}}_{\text{УО.тр}}(t) = N_0 \left| V_{\text{сбл}} \right| \omega^*_{\text{виз}} \tag{9}$$

где N_0 = 3 – постоянная метода наведения (навигационная константа),

$V_{\text{сбл}} = -\dfrac{dr}{dt} = -\dot{r}$ – скорость сближения ракеты с целью (r – вектор дальности, соединяющий ракету и цель),

$\omega^*_{\text{виз}} = \dfrac{d\eta^*}{dt} = \dot{\eta}^*$ – измеренная бортовой аппаратурой ракеты угловая скорость вращения линии визирования (η^* – измеренный аппаратурой ракеты угол линии визирования),

Достоинством метода пропорциональной навигации является обеспечение малой перегрузки ракеты на протяжении всей траектории.

Для реализации метода используется специальный силовой следящий гиропривод на основе управляемого позиционного гироскопа. Гироскоп выполняет функции одновременно следящего и стабилизирующего устройств. Основное свойство позиционного гироскопа заключается в способности сохранять неизменным направление вращающегося ротора, ось которого является основной осью $x_{\text{гир}}$ гироскопа, при колебаниях корпуса ракеты. В управляемом позиционном гироскопе имеется возможность создавать моменты M_y и M_z на осях $y_{\text{гир}}$ и $z_{\text{гир}}$ гироскопа, перпендикулярные его основной оси. Под действием этих моментов основная ось безынерционно поворачивается так, чтобы по кратчайшему пути совместить вектор кинетического момента гироскопа с моментами M_y и M_z (рис. 6). То есть, при действии момента M_z ось гироскопа вращается вокруг оси $y_{\text{гир}}$, а при действии момента M_y – вокруг оси $z_{\text{гир}}$. Данное явление называется прецессией. При этом проекции вектора угловой скорости разворота оси $x_{\text{гир}}$ на плоскости, соответствующей контурам управления ракеты по курсу и тангажу, пропорциональны создаваемым моментам.

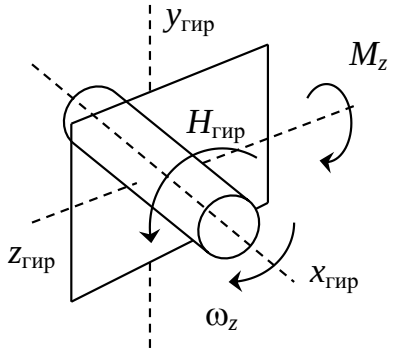


Рис. 6 – Прецессия гироскопа

Совмещая подвижный элемент пеленгатора с ротором гироскопа, и используя его выходной сигнал для создания управляющих моментов M_y и M_z в каждом из контуров управления (по курсу и тангажу), образуется замкнутая следящая система с интегратором в цепи отрицательной обратной связи, соответствующая рис. 7.

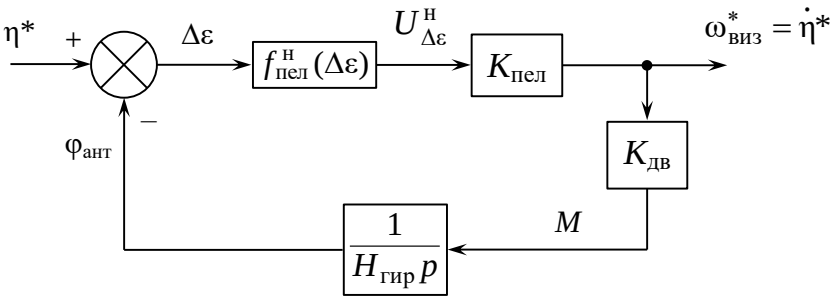


Рис. 7 – Модель угломерного устройства ГСН с моноимпульсным пеленгатором и силовым следящим гироприводом

Пеленгатор в данном случае моделируется в виде последовательного соединения безынерционного нелинейного звена с нормированной пеленгационной характеристикой вида $U^{\text{н}}_{\Delta\varepsilon} = f^{\text{н}}_{\text{пел}}(\Delta\varepsilon)$ и линейного динамического звена со статическим коэффициентом передачи $K_{\text{пел}}$. При этом крутизна пеленгационной характеристики в точке $\Delta\varepsilon = 0$ совпадает с коэффициентом $K_{\text{пел}}$. Для моноимпульсного пеленгатора с суммарно-разностным методом измерения угловых координат пеленгационная характеристика имеет следующий вид [1, С. 5-6], [4, С. 382]:

$$U_{\Delta\varepsilon}^{\text{н}} = f_{\text{пел}}^{\text{н}}(\Delta\varepsilon) = \text{tg}\left(\pi \cdot \frac{d}{\lambda} \cdot \sin\Delta\varepsilon\right) \tag{10}$$

где λ = 3 см – рабочая длина волны излучения ГСН,
d = 0,8 см – расстояние между излучающими щелями антенны ГСН.
$U_{\Delta\varepsilon}^{\text{н}}$ – нормированное напряжение на выходе пеленгатора.
График пеленгационной характеристики (10) при заданных параметрах пеленгатора ГСН представлен на рис. 8.

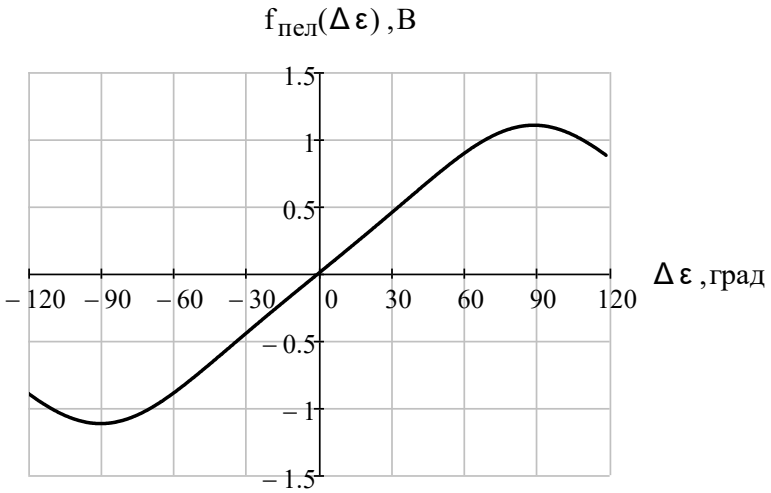


Рис. 8 – Нормированная пеленгационная характеристика моноимпульсного суммарно-разностного пеленгатора

При отклонении оси подвижного элемента пеленгатора (оси гироскопа $x_{\text{гир}}$) от направления цели на угол $\Delta\varepsilon$ пеленгатор вырабатывает сигнал рассогласования $K_{\text{пел}}U_{\Delta\varepsilon}^{\text{н}}$, который подаётся на моментный электродвигатель с коэффициентом передачи $K_{\text{дв}}$. Электродвигатель создаёт момент M, под действием которого ось $x_{\text{гир}}$, а вместе с ней и подвижный элемент пеленгатора поворачиваются в сторону цели с угловой скоростью $\dot{\varphi}_{\text{ант}} = \frac{M}{H_{\text{гир}}}$, где $H_{\text{гир}}$ – кинетический момент гироскопа, который определяется как $H_{\text{гир}} = \frac{J_x\omega^2}{2}$, где J_x – момент инерции вращающегося тела гироскопа относительно оси $x_{\text{гир}}$, ω – угловая скорость вращения.

Система уравнений, описывающих устройство (рис. 7) имеет вид:

$$\begin{cases} \Delta\varepsilon = \eta^* - \varphi_{\text{ант}}, \\ U_{\Delta\varepsilon}^{\text{н}} = f_{\text{пел}}^{\text{н}}(\Delta\varepsilon), \\ M = K_{\text{дв}}K_{\text{пел}}U_{\Delta\varepsilon}^{\text{н}}, \\ \dot{\varphi}_{\text{ант}} = \dfrac{M}{H_{\text{гир}}}, \end{cases} \tag{11}$$

где $\eta^* = \eta + \theta_{\text{уш}} + \nu(\varepsilon)$, $\varepsilon = \eta - \varphi_{\text{УО}} = \eta - \gamma_{\text{УО}} - \alpha_{\text{УО}}$.

Путём исключения промежуточных переменных в системе (11), образуется одно дифференциальное уравнение. Оно представлено в правильной форме Коши и имеет следующий вид:

$$\dot{\varphi}_{\text{ант}} = \frac{K_{\text{дв}} \cdot K_{\text{пел}} \cdot f_{\text{пел}}^{\text{н}}\{[\eta + \theta_{\text{уш}} + \nu(\eta - \gamma_{\text{УО}} - \alpha_{\text{УО}})] - \varphi_{\text{ант}}\}}{H_{\text{гир}}} \tag{12}$$

На выходе устройства (рис. 7) формируется измеренное значение угловой скорости вращения линии визирования, которое определяется как $\omega_{\text{виз}}^* = K_{\text{пел}}U_{\Delta\varepsilon}^{\text{н}}$. В модели контура управления данное устройство является *измерительным звеном*.

Информационным признаком наведения в исследуемой системе является рассогласование реального (измеряемого) трансверсального ускорения с оптимальным (требуемым) ($\Delta J_{\text{УО.тр}}$). Тогда управляющая команда в звене выработки и передачи команд (ЗВК) вырабатывается в соответствии с выражением:

$$U_{\text{К}} = f(\Delta J_{\text{УО.тр}}),$$

где f – функциональный оператор, определяющий правило формирования команды управления.

Звено выработки и передачи команд соответствует устройству формирования команд (формирователю команд), расположенному на ракете, и реализуемому обычно программно в бортовой электронно-вычислительной машине. Звено выработки команд представляется безынерционным звеном с коэффициентом передачи $K_{ЗВК}$, поэтому

$$U_К = K_{ЗВК} \cdot \Delta J_{УО.тр} = K_{ЗВК} \cdot (J^{опт}_{УО.тр} - J^{изм}_{УО.тр}) \tag{13}$$

Реальное трансверсальное ускорение определяется датчиками линейных ускорений (ДЛУ), совмещёнными с осью антенны. Конструктивно ДЛУ могут быть установлены либо на подвижном элементе пеленгатора, либо непосредственно на корпусе ракеты. В первом случае ДЛУ будет формировать напряжение, пропорциональное составляющей ускорения $J_{УО.норм.ант}$, перпендикулярной оси $X_{ант}$ следящего элемента пеленгатора. Поскольку направление оси $X_{ант}$ отличается от направления линии визирования на ошибку слежения $\Delta\varepsilon$, которая мала, то можно считать, что $J_{УО.норм.ант} \approx J^{изм}_{УО.тр}$. Если подвижный элемент пеленгатора имеет малые массу и габариты, то установка на нём ДЛУ становится невозможной. В этом случае на корпусе ракеты размещаются два ДЛУ, измеряющие составляющие ускорения $J_{УО.X}$ и $J_{УО.норм.X}$ (рис. 1). Для формирования напряжения, пропорционального трансверсальному ускорению, показания этих ДЛУ пересчитываются по формулам преобразования координат. Поскольку на борту ракеты направление линии визирования отождествляется с направлением оси $X_{ант}$, пересчёт даёт составляющую $J_{УО.норм.ант}$, которая близка к $J^{изм}_{УО.тр}$.

В обоих случаях для построения модели системы самонаведения модель ракеты должна формировать составляющую ускорения $J_{УО.норм.ант}$. Для этого вычисляется $J_{УО.норм.ант}$ по формулам преобразования координат. С учётом того, что $J_{УО.тан} \approx 0$, из геометрических соотношений (рис. 1) получается:

$$J_{УО.норм.ант} \approx J_{УО.норм} \cos(\varphi_{ант} - \gamma_{УО}).$$

Нормальное скоростное ускорение (т. е. перпендикулярное вектору скорости ракеты) определяется из соотношения

$$J_{УО.норм} = V_{УО}\dot{\gamma}_{УО}.$$

Поскольку угол скольжения $\alpha_{УО} = \tau\dot{\gamma}_{УО}$, то

$$J_{УО.норм} = \frac{V_{УО}\alpha_{УО}}{\tau},$$

где τ – аэродинамическая постоянная времени управляемого объекта.

Таким образом, реальное (измеряемое) трансверсальное ускорение управляемого объекта, пересчитанное в антенную систему координат, равно:

$$J^{изм}_{УО.тр} \approx \frac{V_{УО}\alpha_{УО}}{\tau} \cdot \cos(\varphi_{ант} - \gamma_{УО}) \tag{14}$$

В состав внешнего контура управления обязательно также входит звено «*управляемый объект – автопилот*». Входной переменной его является команда управления $U_К$, поступающая из ЗВК (13), а выходной – курсовой угол $\gamma_{УО}$, определяющий направление вектора скорости УО.

Модель управляемого объекта (крестокрылой осесимметричной ракеты) представляется системой дифференциальных уравнений, описывающих действие *сил* и *моментов* на ракету в процессе полёта:

$$\begin{cases} \ddot{\alpha}_{УО} + 2\xi\omega_0\dot{\alpha}_{УО} + \omega_0^2\alpha_{УО} = \left(\bar{\delta}_Р + \dfrac{M_{ВОЗМ}}{I_{УО} \cdot a_\delta}\right)a_\delta, \\ \dot{\gamma}_{УО} = \dfrac{\alpha_{УО}}{\tau}. \end{cases} \tag{15}$$

Первое уравнение соответствует *уравнению моментов*, описывающему вращательное движение ракеты, второе уравнение – соответствует *уравнению сил*, описывающему динамику движения ракеты. Входной переменной модели (15) в общем случае является воздействие в виде суммы угла отклонения рулей $\bar{\delta}_Р$ и внешнего возмущающего момента $M_{ВОЗМ}$, выходной переменной является угол вектора скорости управляемого объекта $\gamma_{УО}$.

В этих уравнениях:

a_δ – коэффициент при переменной воздействия в правой части уравнения,

$I_{УО}$ – момент инерции управляемого объекта относительно осей $OY_{св}$ и $OZ_{св}$ связанной системы координат,

ξ – коэффициент демпфирования (затухания), определяющий колебательные свойства управляемого объекта (определяет характер переходного процесса и зависит от конструктивных характеристик ракеты, скорости и высоты полёта),

ω_0 – угловая частота собственных колебаний управляемого объекта.

При переходе к правильной форме Коши, система уравнений (15) приобретает следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{\gamma}_{\text{УО}} = \dfrac{\alpha_{\text{УО}}}{\tau}, \\ \dot{\alpha}_{\text{УО}} = \zeta, \\ \dot{\zeta} = \left(\bar{\delta}_{\text{Р}} + \dfrac{M_{\text{ВОЗМ}}}{I_{\text{УО}} \cdot a_{\delta}} \right) a_{\delta} - 2\xi\omega_0\zeta - \omega_0^2 \alpha_{\text{УО}}, \end{cases} \tag{16}$$

где ζ – дополнительно введённая вспомогательная переменная.

Начальное значение курсового угла ракеты $\gamma_{\text{УО}}^{0}$, соответствующего моменту времени отделения ракеты от носителя, задаётся в виде соответствующего начального условия системы (16).

Управление летательным аппаратом (ЛА) осуществляется с помощью *автопилота*, т. е. бортового устройства, осуществляющего отклонение рулей с целью обеспечения заданной траектории. Автопилот является составной частью системы управления и содержит каналы управления курсом, тангажом и креном. У крестокрылых ЛА каналы управления курсом и тангажом аналогичны и работают независимо друг от друга.

Рассматривается курсовой канал автопилота. Он состоит из исполнительного устройства – силового привода (СП), разностного звена (сумматора с вычитающим входом) и системы чувствительных элементов (датчиков), контролирующих положение ЛА (рис. 9).

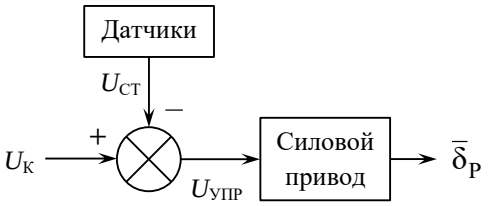


Рис. 9 – Схема автопилота ракеты

Путём суммирования командного $U_{\text{К}}$ и стабилизирующего $U_{\text{СТ}}$ напряжений образуется управляющее напряжение $U_{\text{УПР}} = U_{\text{К}} - U_{\text{СТ}}$. Выходным параметром системы является угол отклонения рулей $\bar{\delta}_{\text{Р}}$.

Силовой привод предназначен для отклонения рулей УО на угол $\bar{\delta}_{\text{Р}}$ пропорционально управляющему напряжению $U_{\text{УПР}}$. Он представляется в виде замкнутой следящей системы, состоящей из электродвигателя, редуктора и датчика угла отклонения руля, расположенного в цепи отрицательной обратной связи системы, выполняющего роль преобразователя «угол-напряжение». Все элементы безынерционны. При подаче напряжения на электродвигатель, он начинает вращаться. Вращение вала электродвигателя через редуктор приводит к отклонению рулей. Датчик угла отклонения руля формирует напряжение, противоположное по знаку управляющему. За счёт отрицательной обратной связи руль фиксируется под углом $\bar{\delta}_{\text{Р}}$.

Таким образом, модель силового привода представляется безынерционным звеном с коэффициентом передачи $K_{\text{СП}}$.

Особенностью звена СП является нелинейность типа «ограничение», так как рулевые органы имеют предел отклонения рулей, связанный с допустимыми перегрузками и устойчивостью полёта.

Автопилот обеспечивает:

- стабилизацию ЛА и демпфирование возмущающих воздействий;
- обеспечение заданной траектории путём связи сигнала команды системы наведения $U_{\text{К}}$ с углом отклонения рулей $\bar{\delta}_{\text{Р}}$;
- стабилизацию передаточных чисел УО (т. е. коэффициентов пропорциональности между командным сигналом и углами отклонения рулей).

Датчики являются автономными чувствительными элементами, предназначенными для выработки стабилизирующих сигналов. Поскольку пропорциональное наведение применяется для поражения быстродвижущихся и маневрирующих целей, жёсткая обратная связь в автопилоте ракеты не используется. Для простоты в автопилоте упущена также и обратная связь на основе датчика линейных ускорений. Таким образом, рассматривается модель автопилота только с гибкой обратной связью, то есть через скоростной гироскоп с коэффициентом передачи $K_{\text{СКГ}}$. Выходной сигнал гироскопа, который и будет стабилизирующим сигналом, определяется следующим образом:

$$U_{\text{СТ}} = K_{\text{СКГ}}\, \dot{\varphi}_{\text{УО}} = K_{\text{СКГ}} \cdot (\dot{\gamma}_{\text{УО}} + \dot{\alpha}_{\text{УО}}) = K_{\text{СКГ}} \cdot \left(\frac{\alpha_{\text{УО}}}{\tau} + \zeta \right) \tag{17}$$

Движение цели – по окружности с постоянной скоростью $V_Ц$ и постоянной нормальной перегрузкой $n_Ц$ (в частности – прямолинейное и равномерное, когда $n_Ц = 0$). Тогда дифференциальное уравнение, описывающее динамику движения цели, имеет следующий вид:

$$\dot{\gamma}_Ц = \pm \frac{n_Ц g}{V_Ц} \tag{18}$$

где $g = 9{,}81$ м/с^2 – ускорение свободного падения вблизи поверхности Земли, а знак « ± » обусловлен направлением движения цели.

Начальное значение курсового угла цели $\gamma_Ц^0$ задаётся в виде соответствующего начального условия уравнения (18).

Движение носителя – прямолинейное с постоянной скоростью $V_Н$ и постоянным курсовым углом $\gamma_Н$. Тогда текущие координаты носителя в плоскости наведения определяются следующим образом:

$$\begin{cases} X_Н(t) = X_Н^0 + V_Н \cdot t \cdot \cos\ \gamma_Н, \\ Z_Н(t) = Z_Н^0 + V_Н \cdot t \cdot \sin\gamma_Н. \end{cases} \tag{19}$$

Полёт носителя до момента отделения ракеты моделируется в течение заданного времени $\Delta T = 25$ сек. При этом его курсовой угол в момент отделения равен начальному курсовому углу ракеты, то есть $\gamma_Н(\Delta T) = \gamma_{УО}^0$. Поэтому координаты носителя для момента начала моделирования $(X_Н^0, Z_Н^0)$ были выбраны такими, чтобы к моменту отделения ракеты они соответствовали заданным начальным координатам ракеты $(X_{УО}^0, Z_{УО}^0)$ на момент её отделения, то есть:

$$\begin{cases} X_Н^0 = X_Н(\Delta T) - V_Н \cdot \Delta T \cdot \cos\ \gamma_Н(\Delta T) = X_{УО}^0 - V_Н \cdot \Delta T \cdot \cos\ \gamma_{УО}^0, \\ Z_Н^0 = Z_Н(\Delta T) - V_Н \cdot \Delta T \cdot \sin\gamma_Н(\Delta T) = Z_{УО}^0 - V_Н \cdot \Delta T \cdot \sin\gamma_{УО}^0. \end{cases} \tag{20}$$

Таким образом, модель контура управления описывается семью дифференциальными уравнениями первого порядка, представленными в правильной форме Коши:

$$\begin{cases} \dot{\gamma}_Ц = \pm \dfrac{n_Ц g}{V_Ц}, \\ \dot{r} = V_Ц \cdot \cos(\eta - \gamma_Ц) - V_{УО} \cdot \cos(\eta - \gamma_{УО}), \\ \dot{\eta} = \dfrac{V_{УО} \cdot \sin(\eta - \gamma_{УО}) - V_Ц \cdot \sin(\eta - \gamma_Ц)}{r}, \\ \dot{\varphi}_{ант} = \dfrac{K_{дв} \cdot K_{пел} \cdot f_{пел}^{н}\{[\eta + \theta_{уш} + \nu(\eta - \gamma_{УО} - \alpha_{УО})] - \varphi_{ант}\}}{H_{гир}}, \\ \dot{\gamma}_{УО} = \dfrac{\alpha_{УО}}{\tau}, \\ \dot{\alpha}_{УО} = \zeta, \\ \dot{\zeta} = \left(\bar{\delta}_Р + \dfrac{M_{ВОЗМ}}{I_{УО} \cdot a_\delta}\right) \cdot a_\delta - 2\xi\omega_0\zeta - \omega_0^2\alpha_{УО}. \end{cases} \tag{21}$$

Численное решение уравнений (21) позволяет определить основные фазовые переменные модели, характеризующие процесс наведения ракеты на цель. Решение уравнений в модели осуществляется методом Рунге-Кутты четвёртого порядка с фиксированным шагом интегрирования [2, С. 259].

Для построения траекторий движения носителя, ракеты и цели в земной системе координат, необходимо получить выражения для их координат как функций времени, то есть $\{X_Н(t), Z_Н(t)\}$, $\{X_{УО}(t), Z_{УО}(t)\}$, $\{X_Ц(t), Z_Ц(t)\}$. При этом траектории движения представляют собой зависимости вида:

$$Z_Н = F_1(X_Н),\ Z_{УО} = F_2(X_{УО}),\ Z_Ц = F_3(X_Ц).$$

Выражения для координат $\{X_Н(t), Z_Н(t)\}$ носителя были рассмотрены ранее и описываются соотношениями (19) и (20).

Для получения выражений для координат ракеты $\{X_{УО}(t), Z_{УО}(t)\}$ и цели $\{X_Ц(t), Z_Ц(t)\}$, необходимо сформировать проекции векторов их скоростей на оси $OX_{зем}$ и $OZ_{зем}$ земной системы координат, что иллюстрируется рис. 2. В соответствии с рис. 2 эти проекции выражаются следующим образом:

$$\begin{cases} V_{\text{УО.X}} = V_{\text{УО}} \cos\ \gamma_{\text{УО}}, \\ V_{\text{УО.Z}} = V_{\text{УО}} \sin \gamma_{\text{УО}}, \\ V_{\text{Ц.X}} = V_{\text{Ц}} \cos\ \gamma_{\text{Ц}}, \\ V_{\text{Ц.Z}} = V_{\text{Ц}} \sin \gamma_{\text{Ц}}. \end{cases} \tag{22}$$

Тогда выражения для текущих координат образуются путём интегрирования по времени составляющих (22):

$$\begin{cases} X_{\text{УО}}(t) = X^0_{\text{УО}} + \int\limits_0^t V_{\text{УО.X}}(\tau)\, d\tau = X^0_{\text{УО}} + \int\limits_0^t V_{\text{УО}} \cos\ \gamma_{\text{УО}} d\tau, \\ Z_{\text{УО}}(t) = Z^0_{\text{УО}} + \int\limits_0^t V_{\text{УО.Z}}(\tau)\, d\tau = Z^0_{\text{УО}} + \int\limits_0^t V_{\text{УО}} \sin \gamma_{\text{УО}} d\tau, \\ X_{\text{Ц}}(t) = X^0_{\text{Ц}} + \int\limits_0^t V_{\text{Ц.X}}(\tau)\, d\tau = X^0_{\text{Ц}} + \int\limits_0^t V_{\text{Ц}} \cos\ \gamma_{\text{Ц}} d\tau, \\ Z_{\text{Ц}}(t) = Z^0_{\text{Ц}} + \int\limits_0^t V_{\text{Ц.Z}}(\tau)\, d\tau = Z^0_{\text{Ц}} + \int\limits_0^t V_{\text{Ц}} \sin \gamma_{\text{Ц}} d\tau. \end{cases} \tag{23}$$

Начальные координаты ракеты $(X^0_{\text{УО}}, Z^0_{\text{УО}})$ и цели $(X^0_{\text{Ц}}, Z^0_{\text{Ц}})$, соответствующие моменту времени отделения ракеты от носителя, были выбраны таким образом, чтобы начальная дальность по линии визирования r_0 соответствовала дальности пуска ракеты (примерно 110 км), а именно $X^0_{\text{УО}} = 30$ км, $Z^0_{\text{УО}} = 15$ км, $X^0_{\text{Ц}} = 140$ км, $Z^0_{\text{Ц}} = 10$ км.

Результаты моделирования

В результате моделирования были исследованы свойства контура управления при наведении на цель, совершающую манёвр с заданной нормальной перегрузкой $n_{\text{Ц}} = 2$ и 2,5 ед. п., получены основные фазовые переменные модели, характеризующие процесс наведения ракеты на цель с момента отделения от носителя до встречи с целью при отсутствии углового шума цели (рис. 10 – 18) и при его наличии (рис. 24 – 31).

Представлены смоделированные траектории движения носителя, ракеты и цели в плоскости наведения (рис. 19 – 22).

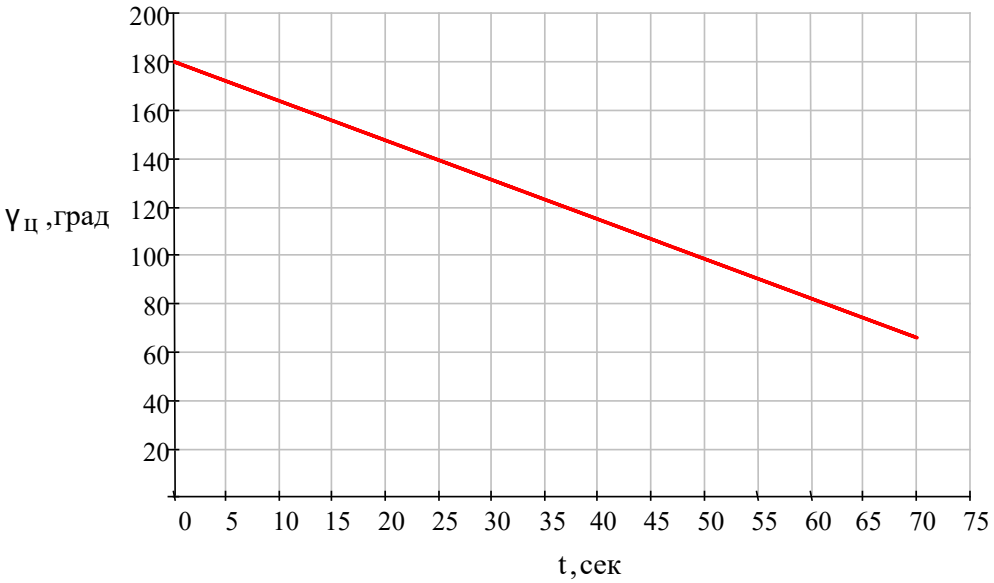


Рис. 10 – Зависимость курсового угла цели от времени

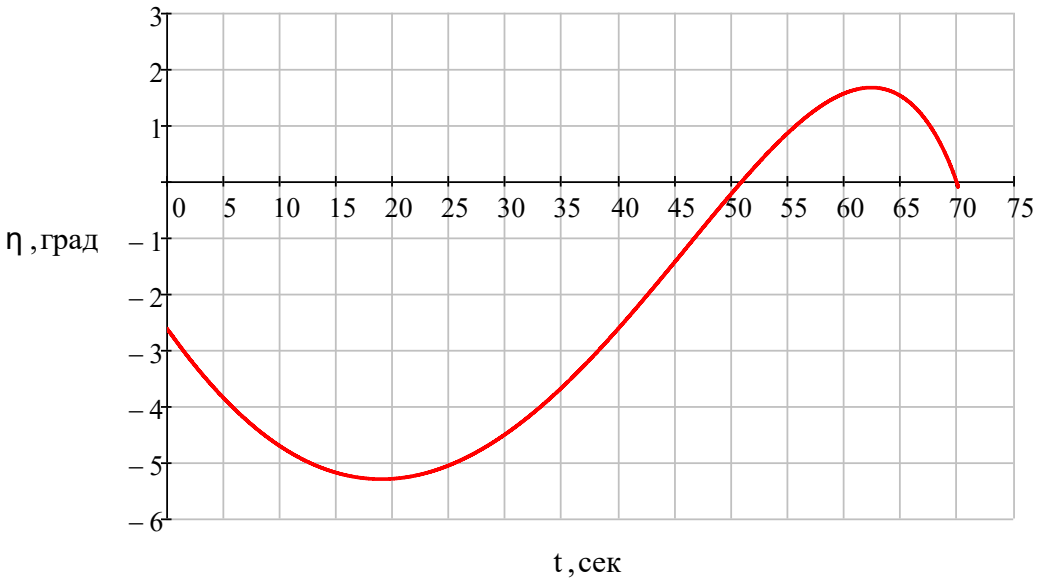


Рис. 11 – Зависимость угла поворота линии визирования от времени при отсутствии углового шума цели

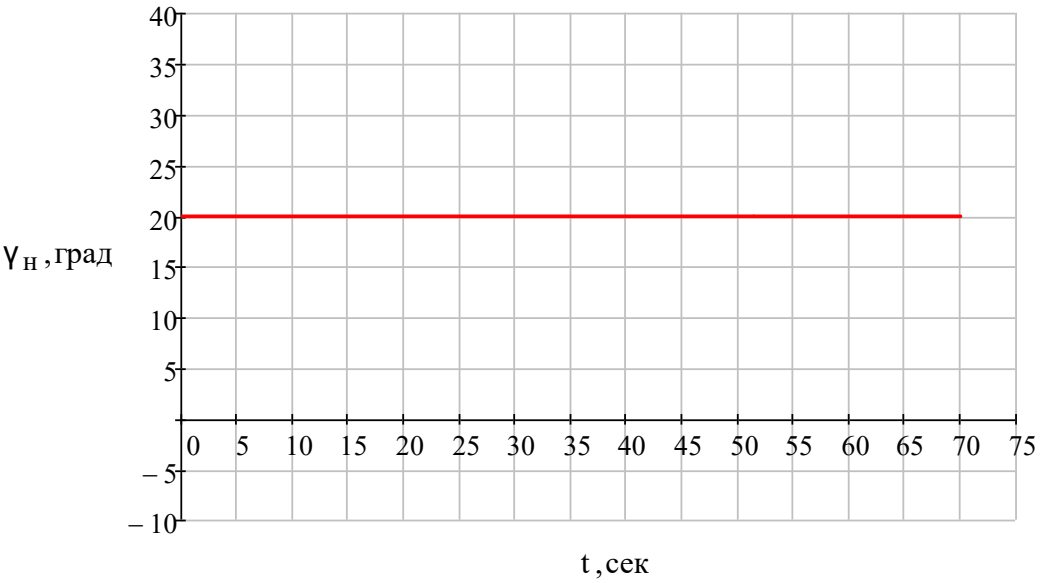


Рис. 12 – Зависимость курсового угла носителя от времени

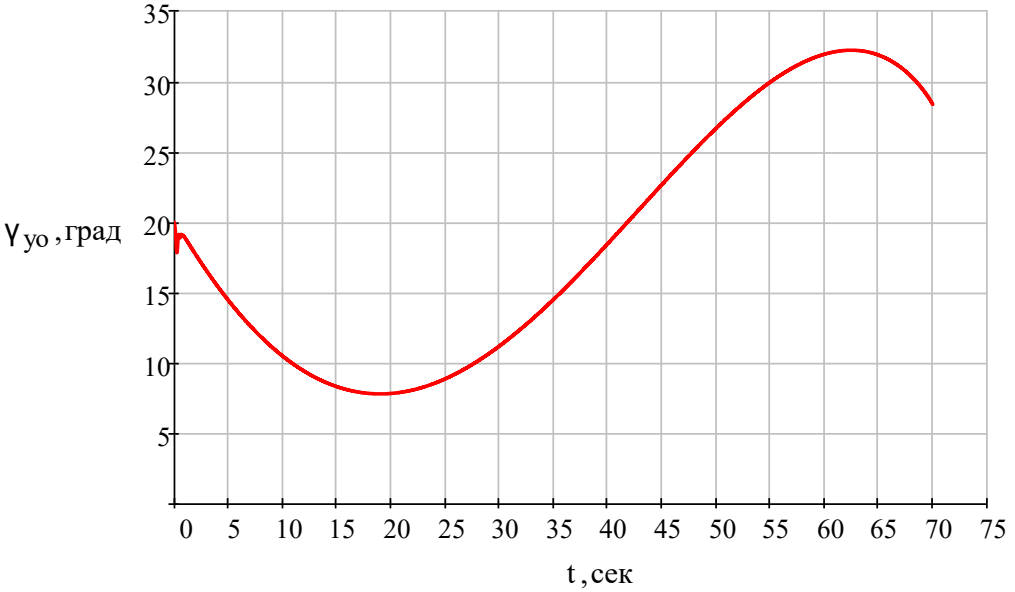


Рис. 13 – Зависимость курсового угла управляемого объекта (ракеты) от времени при отсутствии углового шума цели

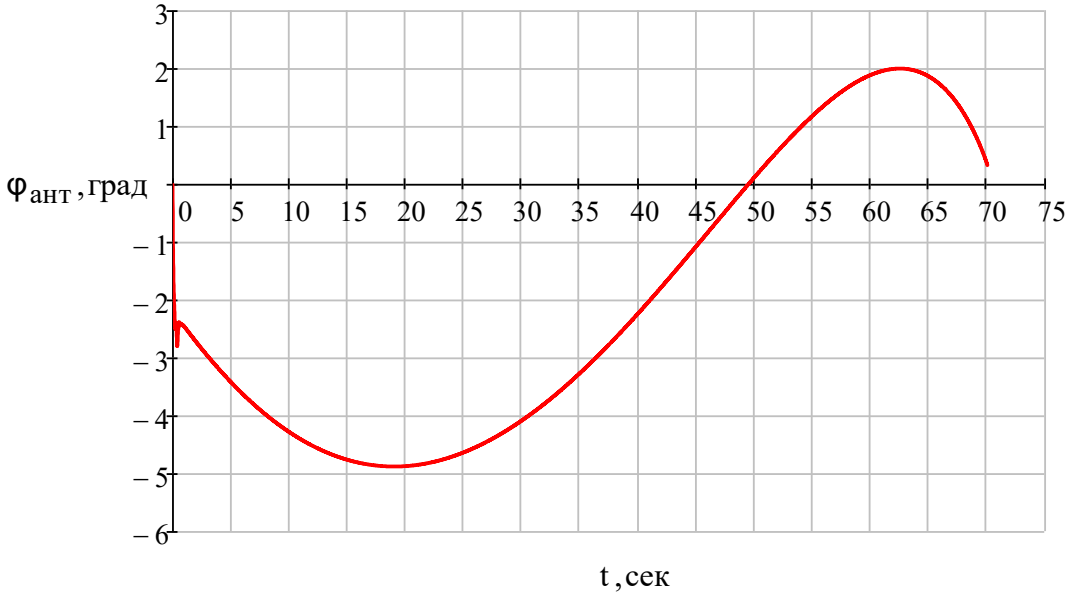


Рис. 14 – Зависимость угла поворота следящего элемента пеленгатора ГСН управляемого объекта (ракеты) от времени при отсутствии углового шума цели

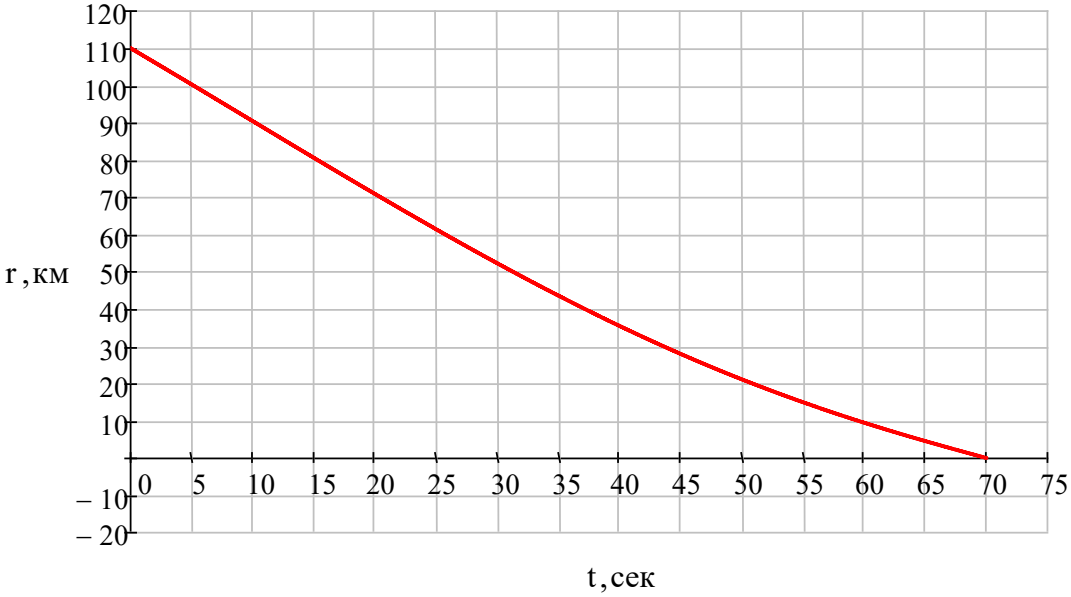


Рис. 15 – Зависимость относительной дальности «ракета – цель» от времени

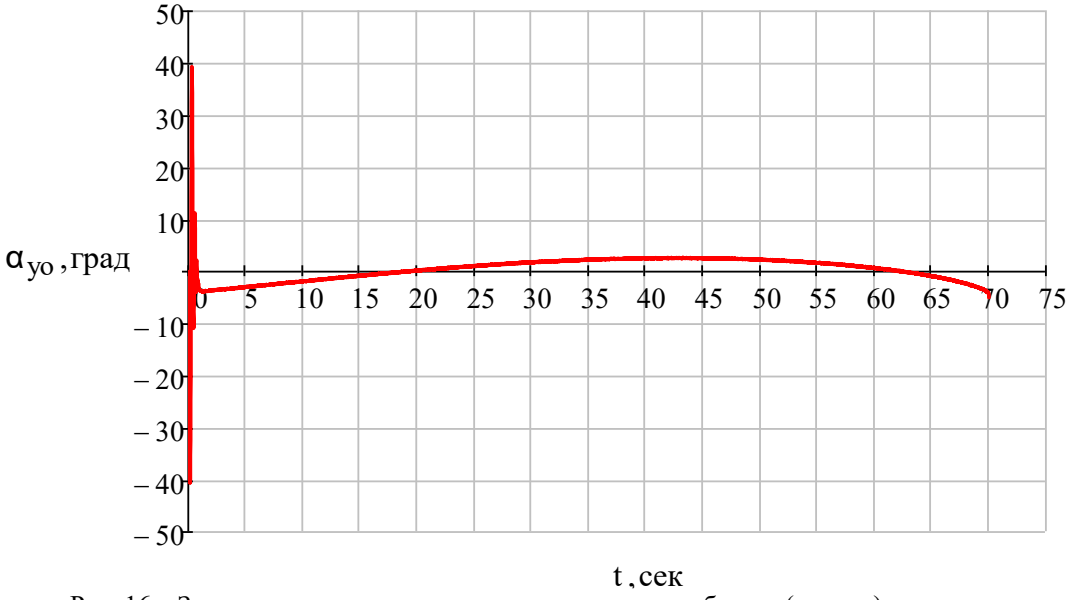


Рис. 16 – Зависимость угла скольжения управляемого объекта (ракеты) от времени при отсутствии углового шума цели

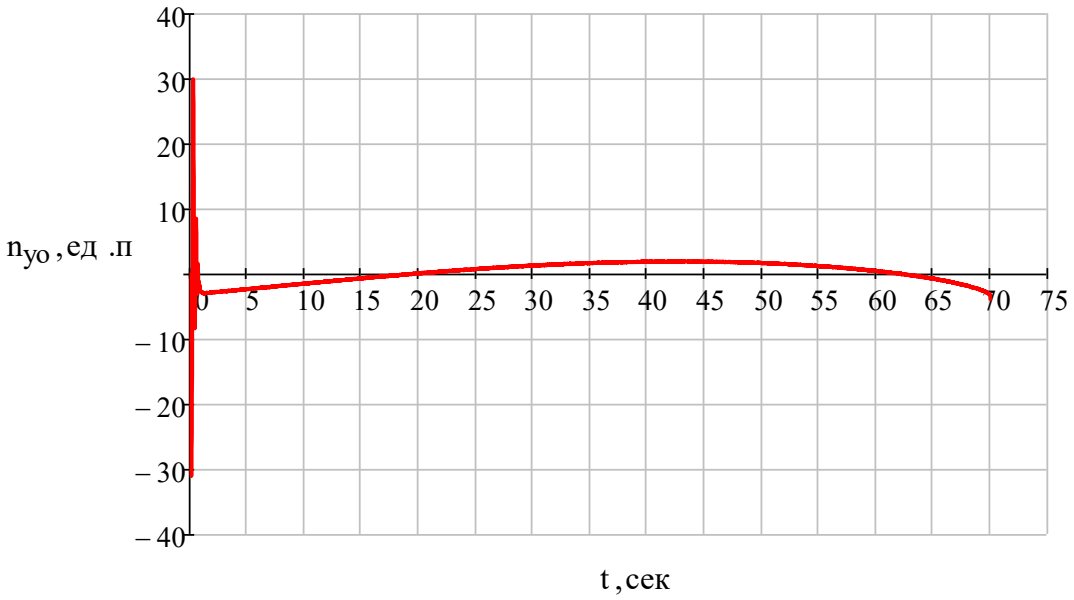


Рис. 17 – Зависимость текущей нормальной перегрузки управляемого объекта (ракеты) от времени при отсутствии углового шума цели

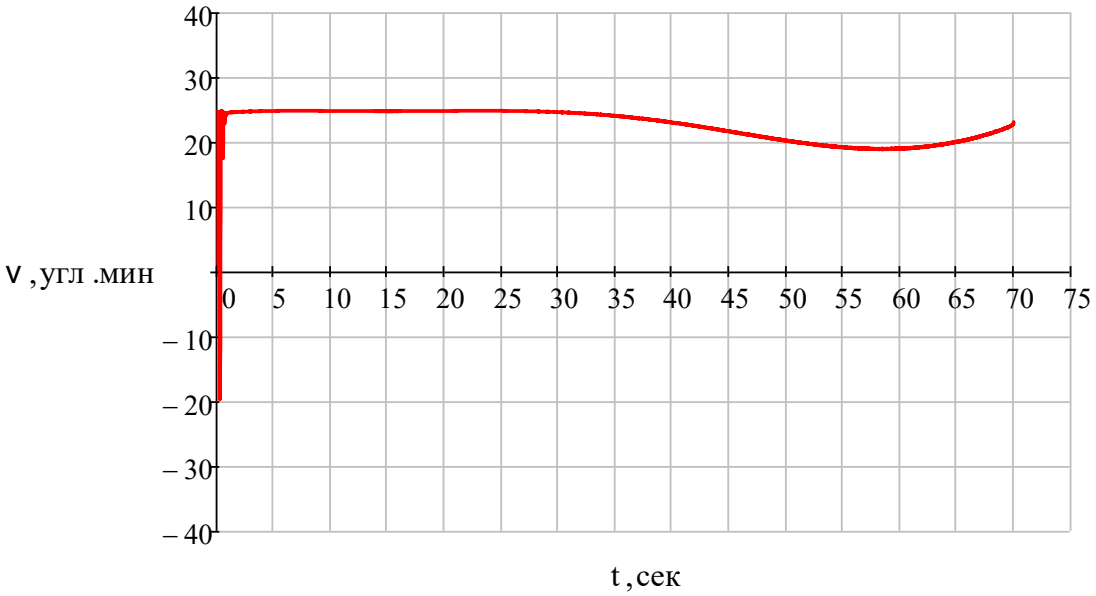


Рис. 18 – Зависимость угловой ошибки, вносимой антенным обтекателем ракеты от времени при отсутствии углового шума цели

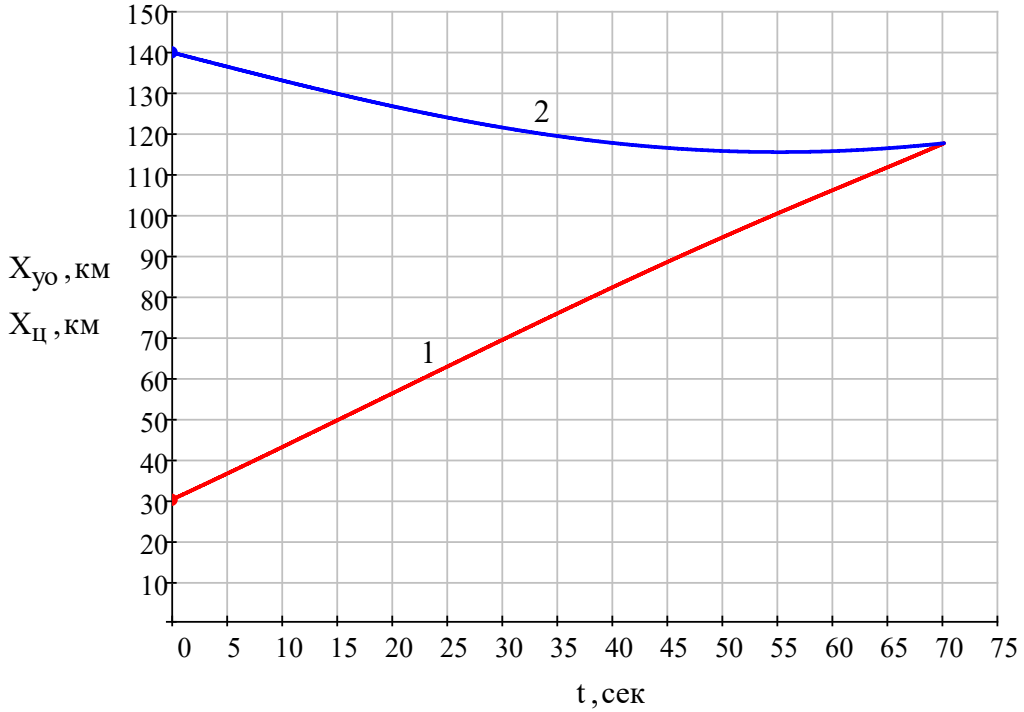


Рис. 19 – Зависимость текущих координат *X* управляемого объекта (ракеты) (*1*) и цели (*2*) от времени

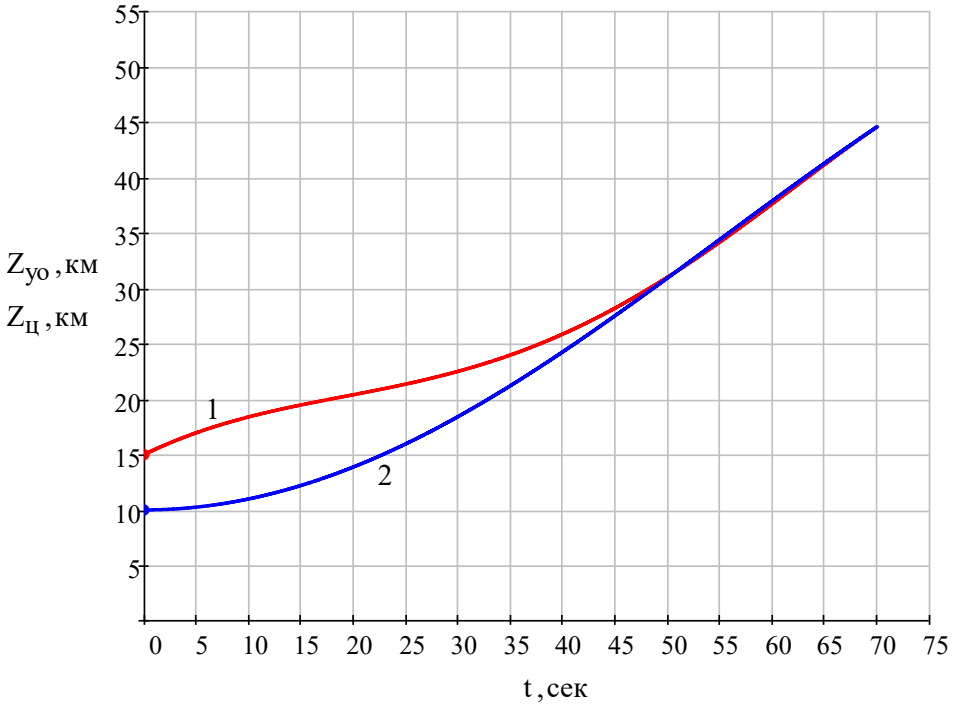


Рис. 20 – Зависимость текущих координат *Z* управляемого объекта (ракеты) (*1*) и цели (*2*) от времени

Траектории движения носителя, ракеты и цели с нанесёнными на них начальными координатами при $n_Ц$ = 2 ед. п. приведены на рис. 21.

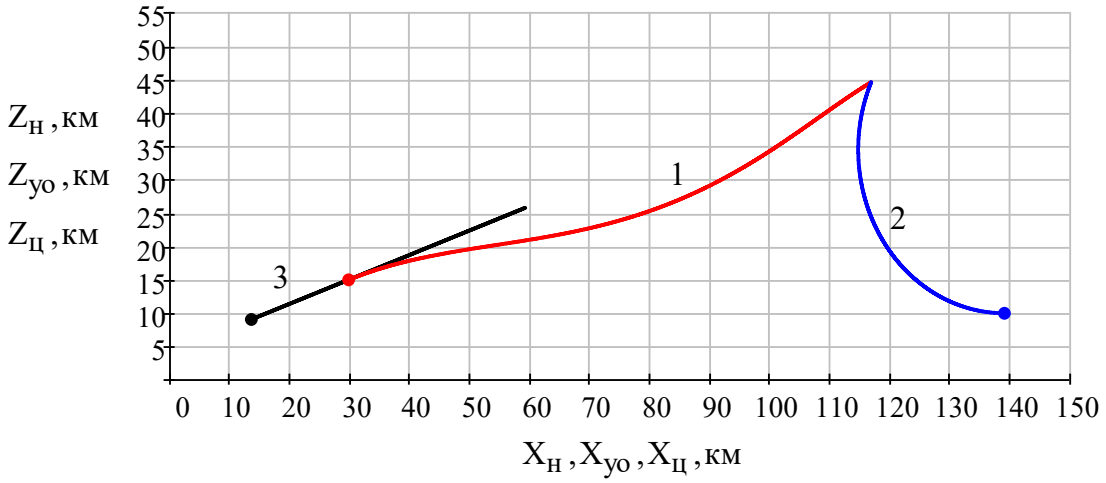


Рис.21 – Траектории движения управляемого объекта (*1*), цели (*2*) и носителя (*3*) в плоскости наведения в земной системе координат при $n_Ц$ = 2 ед. п.

Траектории движения носителя, ракеты и цели с нанесёнными на них начальными координатами при $n_Ц$ = 2,5 ед. п. приведены на рис. 22.

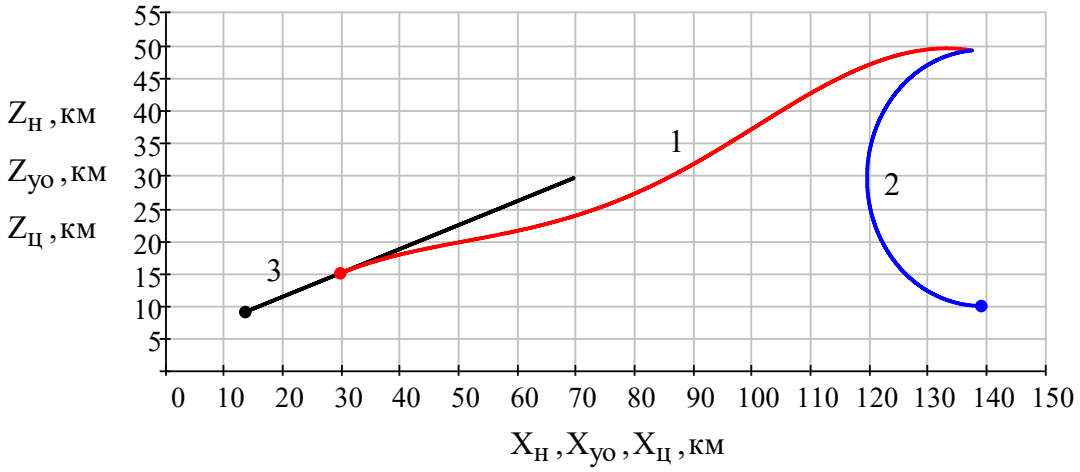


Рис. 22 – Траектории движения управляемого объекта (*1*), цели (*2*) и носителя (*3*) в плоскости наведения в земной системе координат при $n_Ц$ = 2,5 ед. п.

Оценка точности наведения выполнялась по исходным данным о конечном взаимном положении ракеты и цели, полученным в результате статистического моделирования процессов наведения. Условия в момент пуска ракеты и результаты моделирования приведены в таблице 1, где приняты следующие обозначения:

H – высота горизонтального полёта,

$V_Н$ – скорость движения носителя,

$\gamma_Н$ – курсовой угол носителя,

$V_{УО}$ – скорость движения управляемого объекта (ракеты),

$\gamma^0_{УО}$ – начальный курсовой угол УО,

$V_Ц$ – скорость движения цели,

$\gamma^0_Ц$ – начальный курсовой угол цели,

$n_Ц$ – заданная перегрузка цели,

$M_{\Delta r}$ – математическое ожидание (МО) промаха Δr ракеты относительно цели,

$\sigma_{\Delta r}$ – среднеквадратическое отклонение (СКО) промаха,

Оценка МО и СКО промаха выполнялась по десяти реализациям пуска ракеты (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты по оценке точности наведения ракеты при отсутствии углового шума цели

№ п/п	H, км	$V_Н$, Мах	$\gamma_Н$	$V_{УО}$, Мах	$\gamma^0_{УО}$	$V_Ц$, Мах	$\gamma^0_Ц$	$n_Ц$, ед. п.	Промах Δr, м	
									$M_{\Delta r}$	$\sigma_{\Delta r}$
1	5	2,35	10°	4,5	10°	2,35	0°	0	1,102	0,126
2	5	2,35	10°	4,5	10°	2,35	30°	0	1,203	0,115
3	10	2,35	10°	4,5	10°	2,35	60°	0	1,416	0,201
4	10	2,35	15°	4,5	15°	2,35	90°	1,0	1,821	0,225
5	15	2,35	15°	4,5	15°	2,35	180°	1,0	2,024	0,161
6	15	2,35	15°	4,5	15°	2,35	30°	1,0	2,158	0,253
7	20	2,35	20°	4,5	20°	2,35	90°	2,0	2,236	0,256
8	20	2,35	20°	4,5	20°	2,35	180°	2,0	2,321	0,121
9	25	2,35	20°	4,5	20°	2,35	0°	2,5	2,451	0,237
10	25	2,35	20°	4,5	20°	2,35	60°	2,5	2,482	0,189

Анализ результатов, приведённых в таблице 1, а также анализ процессов наведения, показывает следующее.

При отсутствии углового шума цели обеспечивается достаточно высокая точность наведения, характеризуемая математическим ожиданием промаха $M_{\Delta r} \approx 1{,}1 \div 2{,}4$ м и среднеквадратическим отклонением $\sigma_{\Delta r} \approx 0{,}1 \div 0{,}2$ м.

Угловой шум цели, порождаемый случайными перемещениями линии визирования вследствие того, что цель перестаёт быть точечным объектом, представлен на рис. 23.

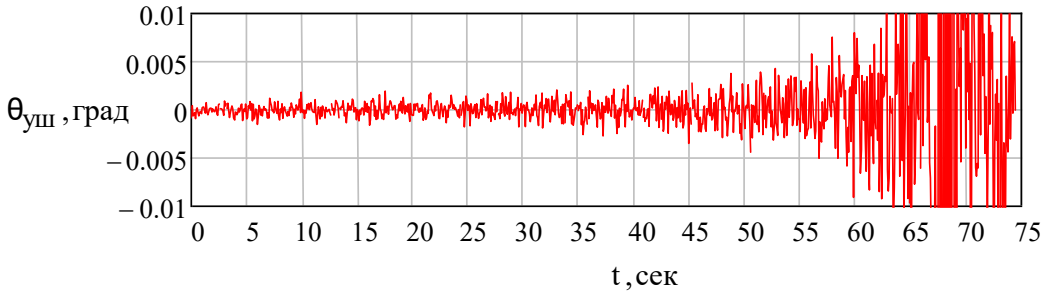


Рис. 23 – Угловой шум цели, как нестационарный по дисперсии случайный процесс, нарастающий по мере сближения с целью

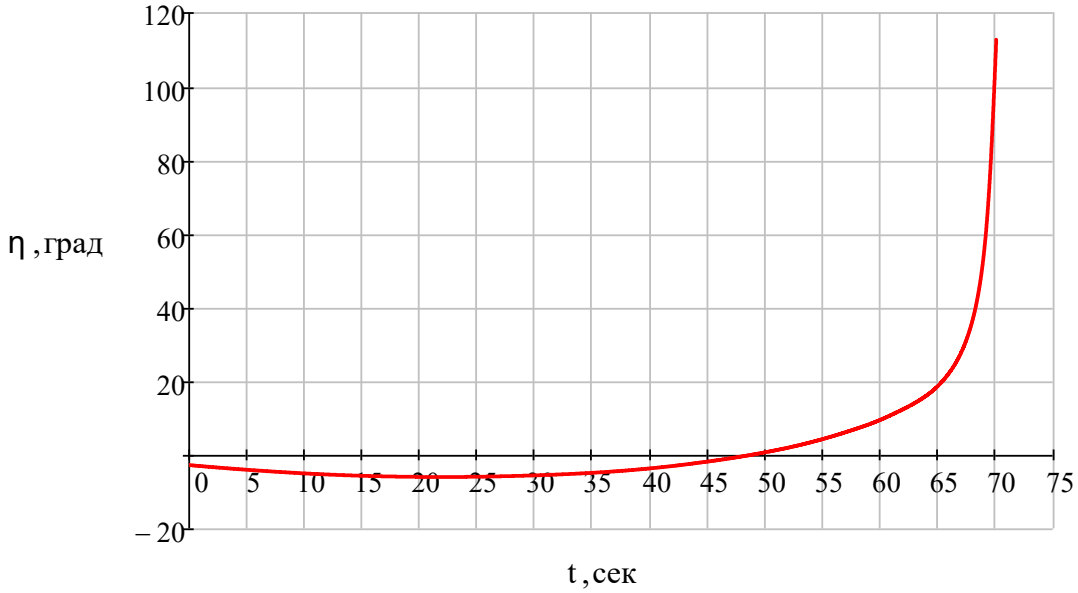


Рис. 24 – Зависимость угла поворота линии визирования от времени при наличии углового шума цели

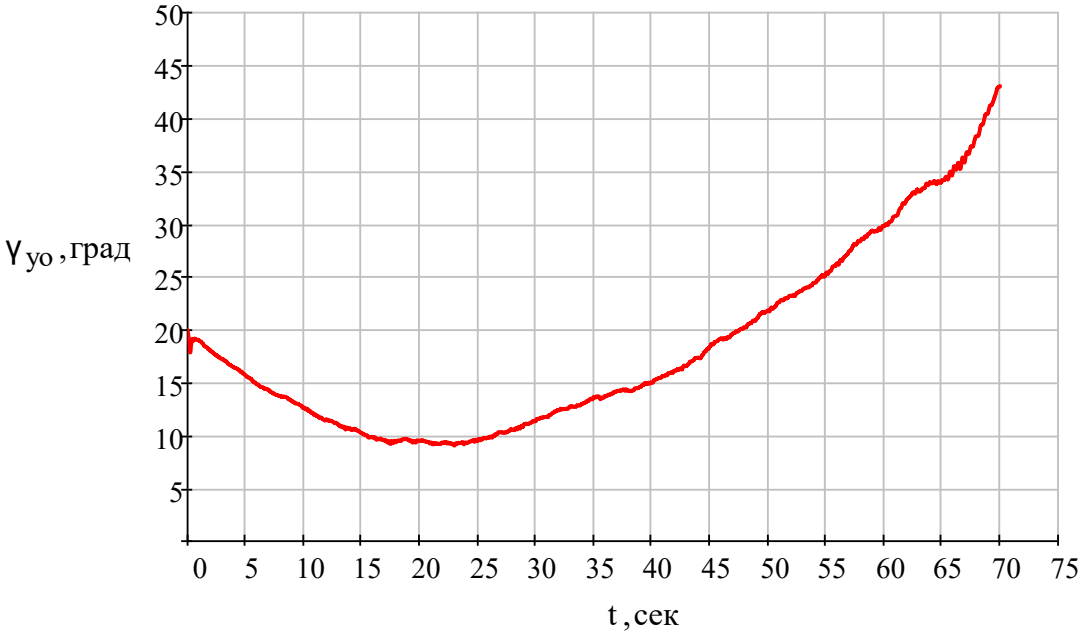


Рис. 25 – Зависимость курсового угла управляемого объекта (ракеты) от времени при наличии углового шума цели

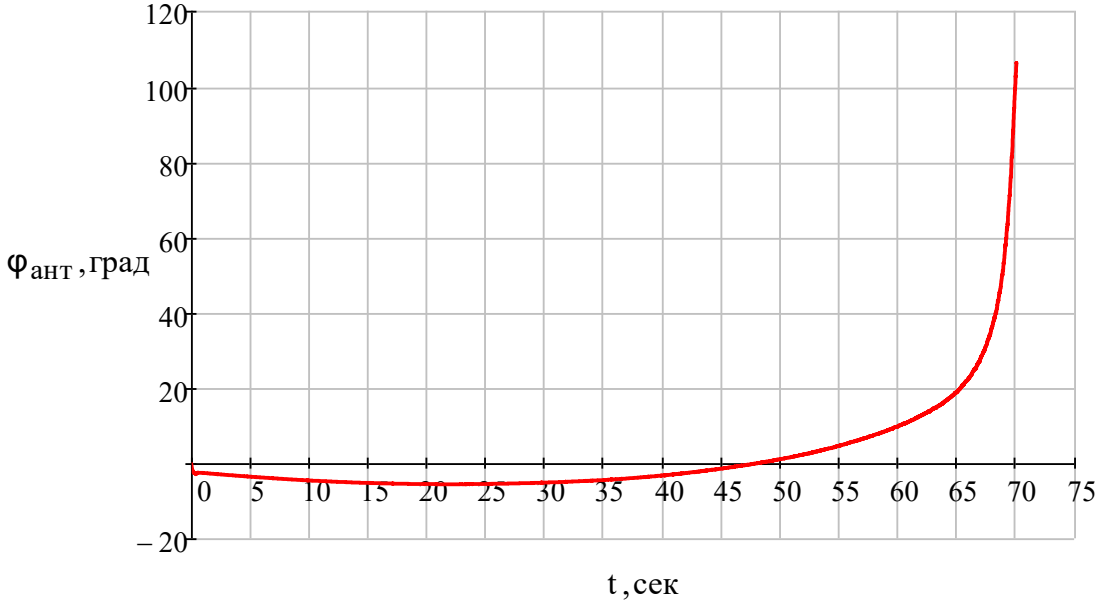


Рис. 26 – Зависимость угла поворота следящего элемента пеленгатора ГСН управляемого объекта (ракеты) от времени при наличии углового шума цели

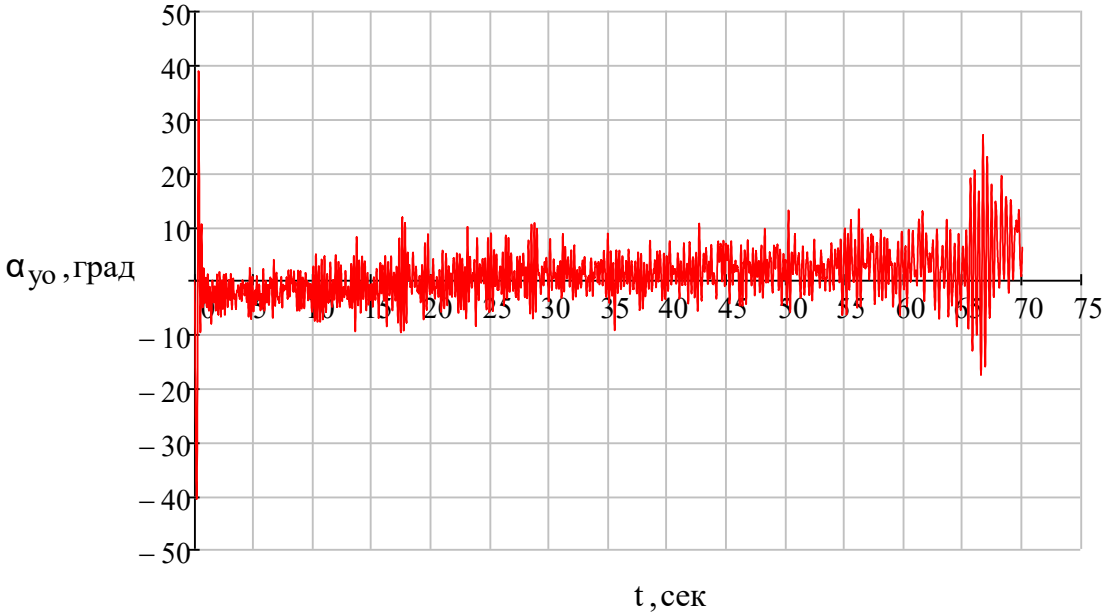


Рис. 27 – Зависимость угла скольжения управляемого объекта (ракеты) от времени при наличии углового шума цели

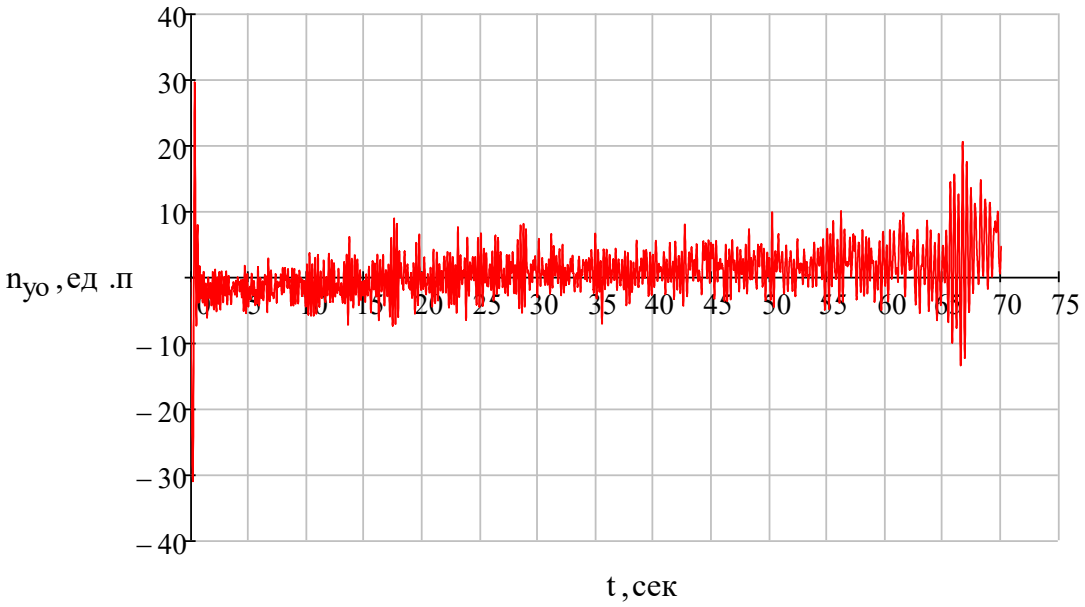


Рис. 28 – Зависимость текущей нормальной перегрузки управляемого объекта (ракеты) от времени при наличии углового шума цели

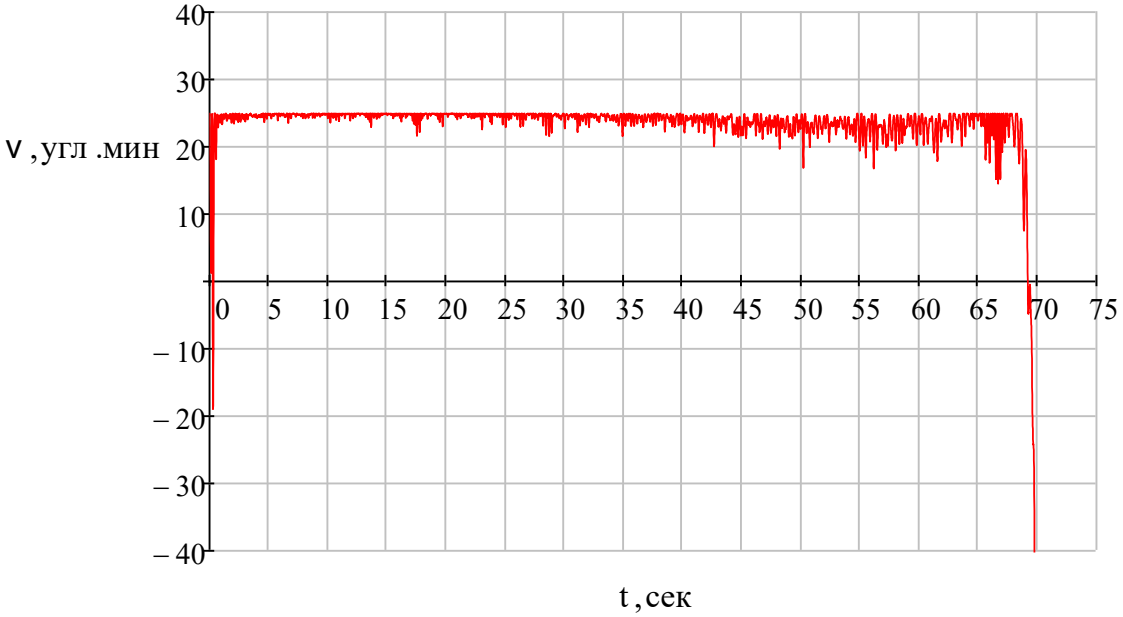


Рис. 29 – Зависимость угловой ошибки, вносимой антенным обтекателем ракеты от времени при наличии углового шума цели

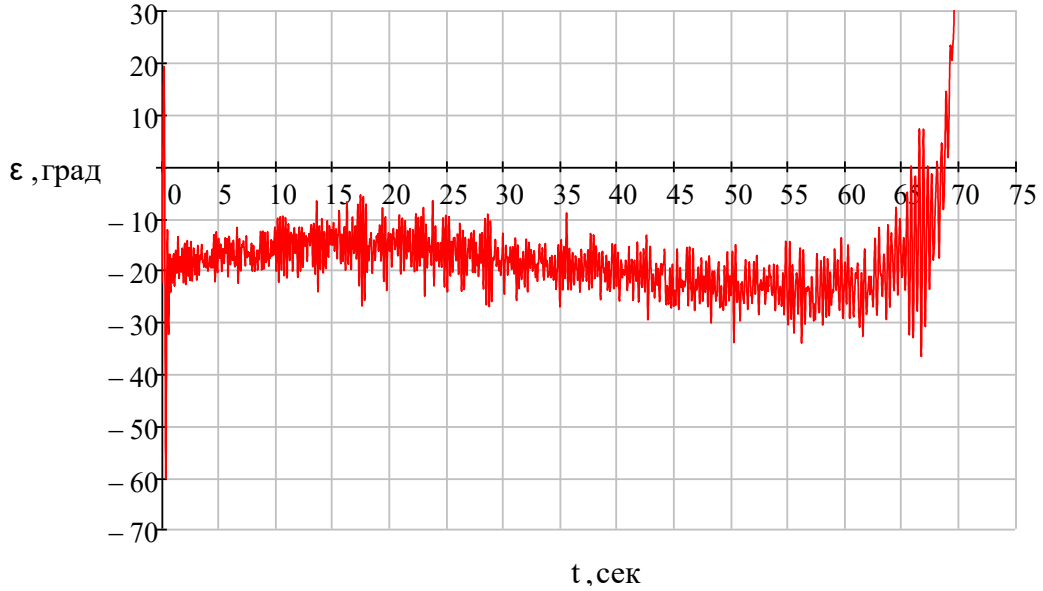


Рис. 30 – Зависимость угла пеленга цели от времени при наличии углового шума

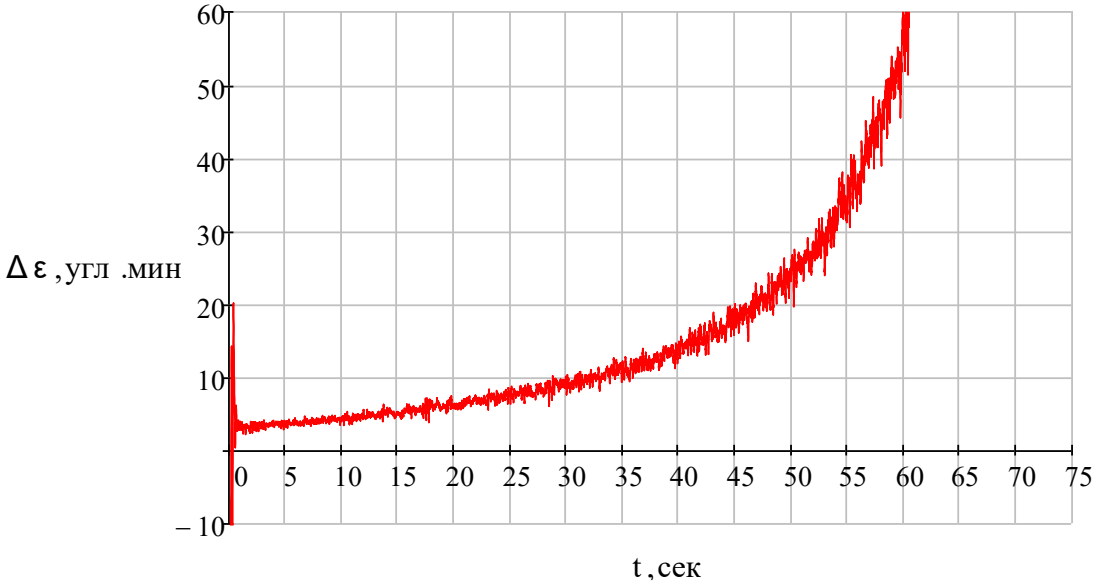


Рис. 31 – Зависимость ошибки слежения по углу (ошибки пеленгования цели) от времени при наличии углового шума

Оценка МО и СКО промаха при действии углового шума цели выполнялась аналогично по десяти реализациям пуска ракеты (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты по оценке точности наведения ракеты при наличии углового шума цели

№ п/п	H, км	$V_Н$, Мах	$\gamma_Н$	$V_{УО}$, Мах	$\gamma^0_{УО}$	$V_Ц$, Мах	$\gamma^0_Ц$	$n_Ц$, ед. п.	Промах Δr, м	
									$M_{\Delta r}$	$\sigma_{\Delta r}$
1	5	2,35	10°	4,5	10°	2,35	0°	0	5,509	1,213
2	5	2,35	10°	4,5	10°	2,35	30°	0	5,813	1,227
3	10	2,35	10°	4,5	10°	2,35	60°	0	6,246	1,504
4	10	2,35	15°	4,5	15°	2,35	90°	1,0	6,651	1,545
5	15	2,35	15°	4,5	15°	2,35	180°	1,0	7,097	1,612
6	15	2,35	15°	4,5	15°	2,35	30°	1,0	7,491	1,698
7	20	2,35	20°	4,5	20°	2,35	90°	2,0	8,102	1,721
8	20	2,35	20°	4,5	20°	2,35	180°	2,0	8,382	1,789
9	25	2,35	20°	4,5	20°	2,35	0°	2,5	9,083	1,802
10	25	2,35	20°	4,5	20°	2,35	60°	2,5	9,503	1,876

Анализ результатов, приведённых в таблице 2, а также анализ процессов наведения, показывает следующее.

При введении в модель углового шума цели, высокой точности наведения не обеспечивается: математическое ожидание промаха составляет $M_{\Delta r} \approx 5{,}5 \div 9{,}5$ м, среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\Delta r} \approx 1{,}2 \div 1{,}8$ м. Низкая точность определяется недостаточной динамикой контура управления и высокой чувствительностью к воздействию случайных флюктуаций углового шума цели. Временное запаздывание контура в отработке заданной перегрузки при подлёте к цели достигает $\tau_З \approx 0{,}5 \div 1$ сек.

Заключение

Таким образом, из результатов моделирования следует, что угловой шум цели, может оказывать существенное влияние на точность наведения при различных условиях пуска ракеты и параметрах звеньев контура наведения. Параметры звеньев контура наведения, а также исходные данные для моделирования, задаются, и в дальнейшем могут быть уточнены по результатам анализа реальных (телеметрических) параметров с натурных (практических) работ, проводимых на оценку точности наведения в целях обеспечения сходимости результатов математического моделирования и натурных работ. Для повышения точности наведения в условиях действия углового шума необходимо применение специальных методов обработки радиолокационного сигнала, отражённого от цели, что выходит за рамки моделирования поставленной проблемы и метода моделирования в данной математической модели.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Проектирование управляемых авиационных ракет класса «воздух-воздух» (теория, конструкция, технология, испытания, экономика, техника безопасности) в 2-х частях: Учебное пособие / под редакцией Соколовского Г.А. – М.: Изд-во ГосМКБ «Вымпел», 2005. – 1168 с.

2. Вейцель В.А. Радиосистемы управления: Учебник для вузов / В.А. Вейцель, А.С. Волковский, С.А. Волковский и др. Под ред. В.А. Вейцеля. – М.: Дрофа, 2005. – 416 с., ил.

3. Меркулов В.И. Авиационные системы радиоуправления. Т. 2. Радиоэлектронные системы самонаведения / В.И. Меркулов, В.В. Дрогалин, А.И. Канащенков и др. Под ред. А. И. Канащенкова и В. И. Меркулова. – М.: «Радиотехника», 2003. – с.: ил.

4. Радиотехнические системы: Учеб. пособие для вузов по спец. «Радиотехника» / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов и др.; Под ред. Ю.М. Казаринова. – М.: Высш. шк., 1990. – 496 с: ил.

5. Семяшкина М.А. Математические модели систем наведения / М.А. Семяшкина, Д.В. Кошкин // Научное сообщество студентов: Междисциплинарные исследования: сб. ст. по мат. XXXVII междунар. студ. науч.-прак. конф. №2 (37). [Электронный ресурс]. – URL: https://sibac.info/archive/meghdis/2(37).pdf (дата обращения: 09.04.2021).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Proektirovanie upravljaemyh aviacionnyh raket klassa «vozduh-vozduh» (teorija, konstrukcija, tehnologija, ispytanija, jekonomika, tehnika bezopasnosti) [Design of guided air-to-air missiles (theory, design, technology, testing, economics, safety)] in 2 parts: Textbook / edited by Sokolovsky G. A.-M.: Publishing house of the GosMKB "Vympel", 2005 – - 1168 p. [in Russian]

2. Weitzel V. A. Radiosistemy upravlenija [Radio control systems]: Textbook for universities / V. A. Weitzel, A. S. Volkovsky, S. A. Volkovsky, etc. Ed. by V. A. Weitzel. - M.: Bustard, 2005 – - 416 p., ill. [in Russian]

3. Merkulov V. I. Aviacionnye sistemy radioupravlenija. T. 2. Radiojelektronnye sistemy samonavedenija [Aviation systems of radio control. Vol. 2. Radioelectronic systems of homing] / V. I. Merkulov, V. V. Drogalin, A. I. Kanashchenkov, etc. Edited by A. I. Kanashchenkov and V. I. Merkulov. - M.: "Radio Engineering", 2003. [in Russian]

4. Radiotehnicheskie sistemy [Radio-technical systems] : Textbook for universities on spec. "Radio Engineering" / Yu. P. Grishin, V. P. Ipatov, Yu. M. Kazarinov, et al.; Edited by Yu. M. Kazarinov. - M.: Higher School of Economics, 1990. - 496 p. [in Russian]

5. Semyashkina M. A. Matematicheskie modeli sistem navedenija [Mathematical models of guidance systems] / M. A. Semyashkina, D. V. Koshkin // Nauchnoe soobshhestvo studentov: Mezhdisciplinarnye issledovanija: sb. st. po mat. XXXVII mezhdunar. stud. nauch.-prak. konf. [Scientific community of students: Interdisciplinary research: sat. st. po mat. XXXVII mezhdunar. stud. nauch. - prak. conf.] No. 2 (37). [Electronic resource]. - URL: https://sibac.info/archive/meghdis/2 (37).pdf (accessed: 09.04.2021). [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.008

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ВОЗМОЖНОЙ НЕУДАЧНОЙ ПЕРЕДАЧИ ОДНОГО ПАКЕТА С ЗАДЕРЖКОЙ 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

Рассмотрена математическая модель для расчета параметров функционирования систем распределенной обработки данных, использующих беспроводные технологии с конкурирующим доступом. Данная модель подходит для стандартов, использующих метод множественного доступа с контролем несущей и предотвращением коллизий (CSMA/CA). Модель построена на основе анализа процессов передачи данных по сети Wi-Fi и предусматривает возможность появления ошибки в процессе передачи информации с первой попытки. Модель позволяет оценивать и исследовать время доставки одного пакета одной станцией в зависимости от различных параметров: времени задержки, коэффициента неудачной отправки, интенсивности отправки пакетов, скорости передачи данных и т.д.

Процесс обмена пакетами считается однородным Марковским с дискретными состояниями и непрерывным временем. Для нахождения предельных вероятностей состояний системы и закона распределения времени передачи информации строится размеченный граф состояний и соответствующая ему система уравнений Колмогорова.

Приведены результаты расчетов изменения времени доставки пакета в зависимости от различных параметров.

Данная модель может быть полезна как при проектировании беспроводных участков распределенной сети обработки информации, так и при их модернизации.

Ключевые слова: Wi-Fi, CSMA/CA, WLAN, MAC, моделирование передачи данных, задержка, помехи, пропускная способность, протокол доступа к среде передачи.

AN INVESTIGATION OF THE MODEL OF A POSSIBLE FAILED TRANSMISSION OF A SINGLE PACKET WITH A DELAY WITHIN A WiFi NETWORK

Research article

Glushakov V.E.*
ORCID: 0000-0002-4235-2931,
Voronezh State University, Voronezh, Russia

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

Abstract

The current article examines a mathematical model for calculating the parameters of the functioning of distributed data processing systems using wireless technologies with competing access. This model is suitable for standards that use the carrier-sense multiple access with collision avoidance method (CSMA/CA). The model is based on the analysis of data transmission processes over a Wi-Fi network and provides for the possibility of an error in the process of transmitting information on the first attempt. The model allows for estimating and studying the time of delivery of a single packet by a single station, depending on various parameters: the delay time, the failure rate, the intensity of sending packets, the data transfer rate, etc.

The packet exchange process is considered to be a homogeneous Markov process with discrete states and continuous time. To find the limiting probabilities of the states of the system and the law of distribution of the time of information transmission, a marked state graph and the corresponding system of Kolmogorov equations are constructed.

The research presents the results of calculations of changes in the delivery time of the package depending on various parameters.

This model can be useful both in the design of wireless sections of a distributed information processing network and in their modernization.

Keywords: Wi-Fi, CSMA/CA, WLAN, MAC, data transfer simulation, delay, interference, bandwidth, transmission medium access protocol.

Введение

Новейшие технологии беспроводной передачи данных быстро внедряются и активно используются как в производственной деятельности большинства компаний, так и при построении сетей для домашнего использования. Однако их применение все-таки ограничено как из-за помех, так и из-за временных задержек в сети.

По мере развития и совершенствования технологий [1] повышается качество передачи информации, увеличивается помехоустойчивость и уменьшаются временные задержки в сети. Математическое моделирование процессов передачи информации [2], [3], [5] также вносит свой вклад в решение этих проблем.

Несмотря на достаточно большое количество публикаций, практически нет работ, в которых были бы построены модели передачи информации, учитывающие потери пакетов и задержки в сети Wi-Fi. В статьях [6], [7] строятся математические модели, позволяющие оценивать время доставки от одного до трех пакетов двумя станциями. В [8] построена математическая модель, предусматривающая возможность появления ошибки в процессе передачи информации с первой попытки, но не учитывающая временные задержки.

Модель

Для расчета параметров функционирования систем распределенной обработки данных, использующих беспроводные технологии с конкурирующим доступом, предлагается отличная от [8] математическая модель, учитывающая временные задержки. Она позволяет оценивать время доставки одного пакета одной станцией в случае возможной одной неудачной попытки отправки информации с задержкой и исследовать его в зависимости от различных параметров: времени задержки, коэффициента неудачной отправки, интенсивности отправки пакетов, скорости передачи данных и т.д.

Данная модель подходит для стандартов, использующих метод множественного доступа с контролем несущей и предотвращением коллизий (CSMA/CA) [9, С. 13-15].

При передаче данных в беспроводных сетях Wi-Fi применяется распределенная координационная функция DCF, использующая метод множественного доступа с контролем несущей и предотвращением коллизий (CSMA/CA) вместе с алгоритмом двоичной экспоненциальной отсрочки. Этот метод используется для организации равноправного доступа к среде передачи данных в стандартах IEEE 802.11 и позволяет предусмотреть возможность возникновения ошибок при передаче информации.

Передающая сторона не получает кадр ACK об успешном приеме, если передача была неудачной (из-за коллизий станций или помех), и тогда размер конкурентного окна для передающего узла после каждой неудачной попытки увеличивается почти вдвое по формуле $2^n - 1$, где $n = 5,\ldots,10$ (для 802.11a). Максимальный размер окна – 1023 $\left(2^{10} - 1\right)$ слота. Таким образом, по мере роста числа коллизий увеличение размера окна происходит динамически, что позволяет снизить вероятность возникновения коллизий и уменьшить временные задержки.

Последовательность обмена информацией (для стандарта 802.11a) в случае успешной передачи одного пакета (фрагмента) представлена на рисунке 1, а в случае неудачной передачи информации с первой попытки, но удачной со второй – на рисунке 2 [10, С. 17].

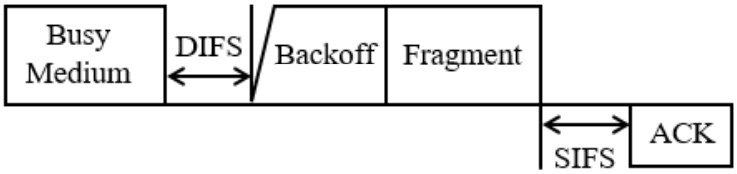


Рис. 1 – Удачная передача одного фрагмента с первой попытки

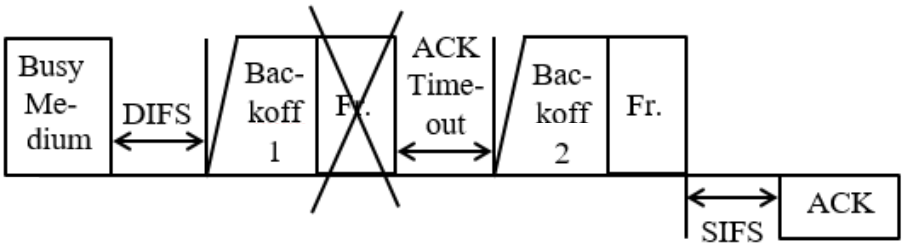


Рис. 2 – Неудачная передача одного фрагмента с первой попытки

Заметим, что задержка при передаче информации может быть только во время передачи фрагмента и кадра ACK.

Предположим, что возможна неудачная передача информации с первой попытки, но гарантированно удачная со второй, причем при передаче информации происходит задержка. Процесс обмена пакетами будем считать однородным Марковским с дискретными состояниями и непрерывным временем, тогда передаче данных будет соответствовать размеченный граф состояний, представленный на рисунке 3.

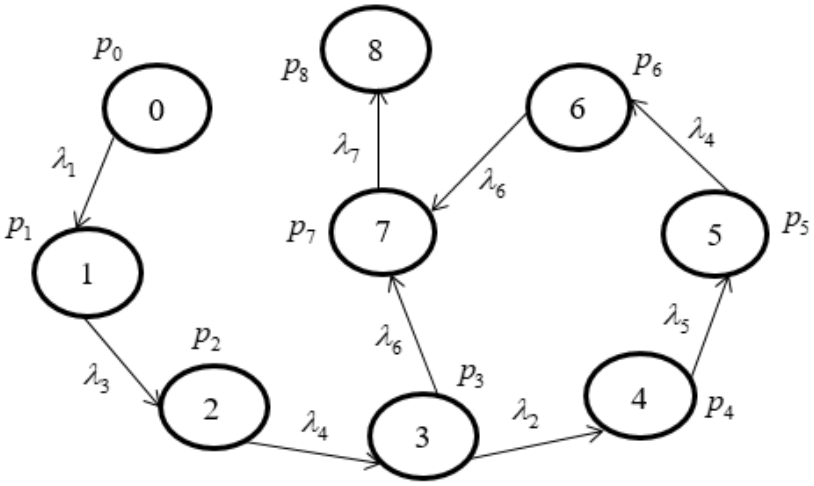


Рис. 3 – Граф состояний для возможной неудачной передачи одного пакета одной станцией с задержкой

Опишем представленные на рис. 3 состояния:

- p_0 – начальное состояние (пакетов для отправки нет);
- p_1 – генерация пакетов передающей станцией;
- p_2 – пауза 1 (станция ждёт время *DIFS+ Backoff Time_1*);
- p_3 – станция осуществляет отправку пакета с задержкой;
- p_4 – станция осуществляет неудачную передачу части пакетов с первого раза;
- p_5 – пауза 2 (станция ждет время *ACK_Timeout* и *Backoff Time_2*);
- p_6 – успешная передача “неудачных” пакетов,
- p_7 – передающая станция ждет время *SIFS*;
- p_8 – принимающая станция передает пакет подтверждения *ACK* с задержкой.

Здесь λ_i - интенсивность передачи информации, $\lambda_i = 1/t_i$ $(i = 3,\ldots,8)$, λ_1 пакетов/с – интенсивность передачи информации передающей станцией, $\lambda_2 = k \cdot \lambda_1$, где k – коэффициент неудачной отправки (процент от отправленных пакетов), $t_3 = t_{DIFS} + t_{BACKOFF_1}$, $t_4 = t_{FRAGMENT} + t_{задержки}$, $t_5 = t_{ACK_Timeout} + t_{BACKOFF_2}$, $t_6 = t_{SIFS}$, $t_7 = t_{ACK} + t_{задержки}$.

Время задержки принимает значения $t_{задержки} = 50, 75, 100, 125$ *мкс*.

Метод решения

Для нахождения предельных вероятностей состояний системы и закона распределения времени передачи информации построим систему уравнений Колмогорова, соответствующую этому графу [11, С. 174-175]:

$$\begin{cases} \dfrac{dp_0}{dt} = -\lambda_1 p_0, \\ \dfrac{dp_1}{dt} = \lambda_1 p_0 - \lambda_3 p_1, \\ \dfrac{dp_2}{dt} = \lambda_3 p_1 - \lambda_4 p_2, \\ \dfrac{dp_3}{dt} = \lambda_4 p_2 - \lambda_2 p_3 - \lambda_6 p_3, \\ \dfrac{dp_4}{dt} = \lambda_2 p_3 - \lambda_5 p_4, \\ \dfrac{dp_5}{dt} = \lambda_5 p_4 - \lambda_4 p_5, \\ \dfrac{dp_6}{dt} = \lambda_4 p_5 - \lambda_6 p_6, \\ \dfrac{dp_7}{dt} = \lambda_6 p_3 + \lambda_6 p_6 - \lambda_7 p_7, \\ \dfrac{dp_8}{dt} = \lambda_7 p_7 \end{cases} \tag{1}$$

с начальными условиями

$$\begin{cases} p_0(0) = 1, \\ p_i(0) = 0 \quad (i = 1,\ldots,8). \end{cases} \tag{2}$$

Для численного решения системы (1)-(2) использовались значения параметров 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*, $t_{BACKOFF_i} = d_i \cdot t_{SLOT_TIMER}$ (d_i – случайная величина таймера отката *Backoff Time*, в данном случае $d_1 = 31$, $d_2 = 63$), размер пакета *ACK* – 14 байт, размер передаваемого пакета *FRAGMENT* – 798 байта (770 байт плюс 28 байт служебной информации). Скорость передачи данных *K* – 100 Мбит/с. Решение системы находилось численно на отрезке [0;0.04] с числом отрезков разбиения $N = 2000$.

Для рассматриваемого случая плотность распределения вероятностей времени доставки одного пакета одной станцией будет определяться формулой $F(t) = p_7(t)\lambda_7$.

Результаты и обсуждение

Для численного решения был использован программный математический пакет Maple 13 и метод Рунге-Кутта-Фелберга 4-5 порядков. Построенная математическая модель позволяет рассчитывать закон распределения времени доставки, определять его параметры. Для коэффициента неудачной отправки $k = 0{,}1\%$ оценивалось влияние различных значений времени задержки $t_{задержки}$ $(t_{задержки} = 50, 75, 100, 125)$ на время доставки информации для разных значений интенсивности отправки пакетов λ_1 (λ_1 меняется от 200 до 10000 пакетов/с).

На рисунке 4 изображены графики изменения времени доставки для разных значений λ_1 при меняющихся значениях $t_{задержки}$. Характер кривых близок к линейному, причем кривые параллельны. С увеличением интенсивности время доставки уменьшается, и чем выше интенсивность, тем ближе графики друг к другу.

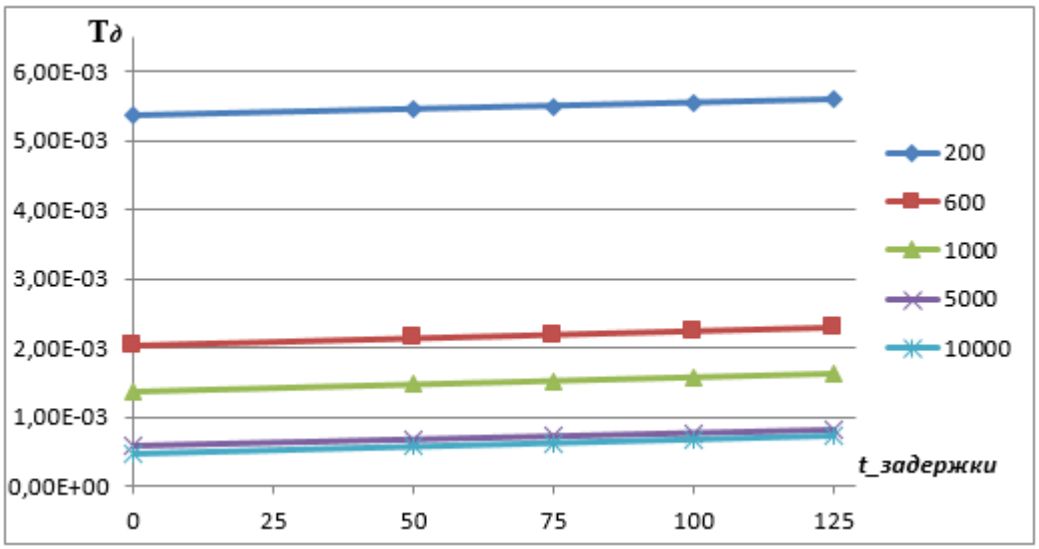


Рис. 4 – Изменение времени доставки для разных значений λ_1 при меняющихся значениях $t_{задержки}$

На рисунке 5 представлены графики изменения времени доставки при фиксированном значении $t_{задержки}$ для меняющихся значений λ_1, и видно экспоненциальное уменьшение времени доставки при увеличении интенсивности отправки пакетов, причем при малых значениях λ_1 временные значения очень близки, а при больших незначительно отличаются, увеличиваясь с ростом $t_{задержки}$.

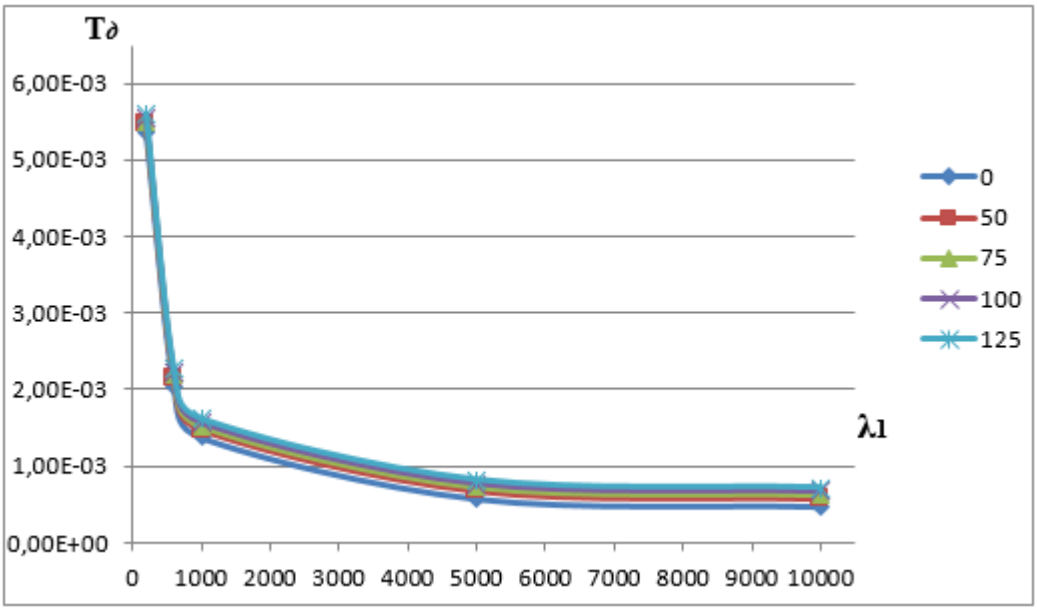


Рис. 5 – Изменение времени доставки при фиксированном значении $t_{задержки}$ для меняющихся значений λ_1

Обозначим через ***t_задержки–0*** разность между $t_{задержки} = 50, 75, 100, 125$ и $t_{задержки} = 0$.

На рисунке 6 представлены графики изменения разностей времён доставки при фиксированных значениях разностей ***t_задержки–0*** для меняющихся значений λ_1. Характер кривых – практически константы. С увеличением значений разностей ***t_задержки–0*** разность времён доставки увеличивается.

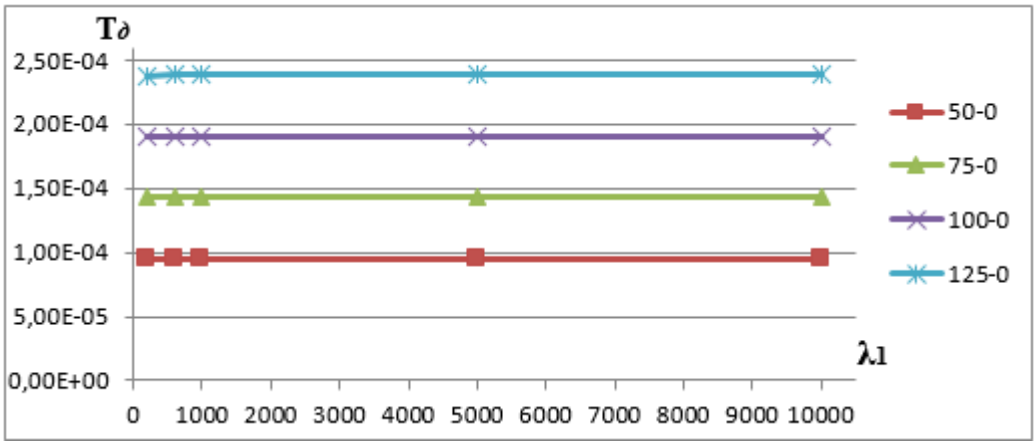


Рис. 6 – Изменение разностей времён доставки при фиксированных значениях разностей ***t_задержки–0*** для меняющихся значений λ_1

На рисунке 7 представлены графики изменения разностей времён доставки для разных значений λ_1 при меняющихся разностях значений $t_{задержки} = 50, 75, 100, 125$ и $t_{задержки} = 0$. Графики практически сливаются друг с другом, причем с увеличением разностей ***t_задержки–0*** разность времён доставки линейно увеличивается.

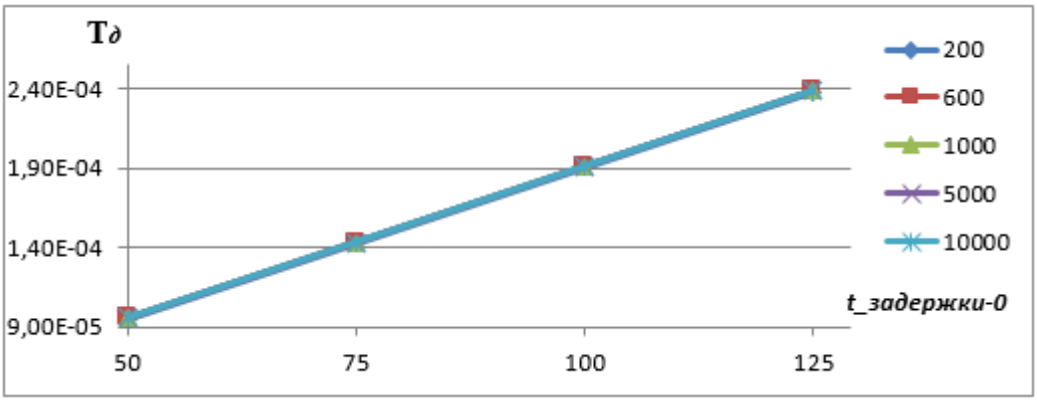


Рис. 7 – Изменение разностей времён доставки для разных значений λ_1 при меняющихся разностях значений ***t_задержки–0***

Заключение

Построенная математическая модель предусматривает возможность появления ошибки в процессе передачи информации с первой попытки и позволяет проводить анализ режимов функционирования сети Wi-Fi при изменении различных параметров: интенсивности генерации пакетов, скорости передачи данных, коэффициента неудачной отправки, времени задержки и др.

Данная модель может быть полезна как при проектировании беспроводных участков распределенной сети обработки информации, так и при их модернизации.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / Reference

1. Ахметшин Д.А. Постановка математической задачи организации бесшовной беспроводной сети по технологии WiFi с фильтрацией контента / Д. А. Ахметшин, Д. Ку, Н. К. Нуриев и др. // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 11. – С. 15-23.

2. Fineman Jeremy T. Contention Resolution on Multiple Channels with Collision Detection / Jeremy T. Fineman, Calvin Newport, Tonghe Wang // PODC '16: Proceedings of the 2016 ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, July 2016. – P. 175-184.

3. Fineman Jeremy T. Contention Resolution on a Fading Channel / Jeremy T. Fineman, Seth Gilbert, Fabian Kuhn et al. // PODC '16: Proceedings of the 2016 ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, July 2016. – P. 155-164.

4. Bender Michael A. How to Scale Exponential Backoff: Constant Throughput, Polylog Access Attempts, and Robustness / Michael A. Bender, Jeremy T. Fineman, Seth Gilbert et al. // SODA '16: Proceedings of the 2016 Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, January 2016. – P. 636-654.

5. Bender Michael A. Contention resolution with log-logstar channel accesses / Michael A. Bender, Tsvi Kopelowitz, Seth Pettie et al. // STOC '16: Proceedings of the 48 annual ACM symposium on Theory of Computing, June 2016. – P. 499-508.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. Платунова С. М. Архитектура и технические средства корпоративной сети на базе беспроводного оборудования WI-FI фирмы ZyXEL : учеб. пособие / С. М. Платунова. – Санкт-Петербург : ИТМО, 2014. – 61 с.

10. Раздел 7. Локальные беспроводные сети WiFi. Лекции по стандартам. – [Электронный ресурс]. – URL: http://docplayer.ru/33818454-Razdel-7-lokalnye-besprovodnye-seti-wifi-lekcii-po-standartam.html (дата обращения: 3.03.18).

11. Вентцель Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения : учебное пособие для втузов / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – Москва : Высшая школа, 2000. – 383 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ahmetshin D.A. Postanovka matematicheskoj zadachi organizacii besshovnoj besprovodnoj seti po tehnologii WiFi s fil'traciej kontenta [Setting the mathematical problem of organizing a seamless wireless network using WiFi technology with content filtering] / D. A. Ahmetshin, D. Ku, N. K. Nuriev et al. // Sovremennye naukoemkie tehnologii [Modern knowledge-intensive technologies]. – 2019. – № 11. – P. 15-23. [in Russian]

2. Fineman Jeremy T. Contention Resolution on Multiple Channels with Collision Detection / Jeremy T. Fineman, Calvin Newport, Tonghe Wang // PODC '16: Proceedings of the 2016 ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, July 2016. – P. 175-184.

3. Fineman Jeremy T. Contention Resolution on a Fading Channel / Jeremy T. Fineman, Seth Gilbert, Fabian Kuhn et al. // PODC '16: Proceedings of the 2016 ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, July 2016. – P. 155-164.

4. Bender Michael A. How to Scale Exponential Backoff: Constant Throughput, Polylog Access Attempts, and Robustness / Michael A. Bender, Jeremy T. Fineman, Seth Gilbert et al. // SODA '16: Proceedings of the 2016 Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, January 2016. – P. 636-654.

5. Bender Michael A. Contention resolution with log-logstar channel accesses / Michael A. Bender, Tsvi Kopelowitz, Seth Pettie et al. // STOC '16: Proceedings of the 48 annual ACM symposium on Theory of Computing, June 2016. – P. 499-508.

6. Glushakov V. E. Issledovanie podhodov k modelirovaniju peredachi dannyh v besprovodnyh setjah [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]

7. 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 modelirovanija i upravlenija. Mezhdunarodnyj nauchno-tehnicheskij zhurnal [Information technologies of modeling and control. International Scientific and Technical Journal]. – Voronezh : Nauchnaja kniga, 2020. – № 2 (120). – P. 130-138. [in Russian]

8. 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-prakticheskoj konferencii 23 ijunja 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 : Mir nauki, 2020. – pp. 46-53. [in Russian]

9. Platunova S. M. Arhitektura i tehnicheskie sredstva korporativnoj seti na baze besprovodnogo oborudovanija WI-FI firmy ZyXEL : ucheb. posobie [Architecture and technical means of the corporate network based on wireless WI-FI equipment of the company ZyXEL: textbook] / S. M. Platunova. – Sankt-Peterburg : ITMO, 2014. – 61 p. [in Russian]

10. Razdel 7. Lokal'nye besprovodnye seti WiFi. Lekcii po standartam [Section 7. Local Wireless Networks WiFi. Lectures on standards]. – [Electronic resource]. ∽ URL: http://docplayer.ru/33818454-Razdel-7-lokalnye-besprovodnye-seti-wifi-lekcii-po-standartam.html (accessed: 3.03.18). [in Russian]

11. 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.2021.107.5.009

АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПРОИЗВОДСТВА СМОРОДИНЫ ЧЕРНОЙ

Обзорная статья

Зыков А.В.[1], Юнин В.А.[2], Захаров А.М.[3, *], Егорова К.И.[4]

[1, 2, 3, 4] Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

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

Аннотация

В статье приведён анализ производства смородины чёрной, а также уровень развития такого направления как садоводство, для разных стран мира. Также приведены данные по уборочной технике различных производителей: VictorZ, Korvan, Joanna-4, Ioonas и т.д. в области садоводства и применимости её в различных странах. Более подробно рассмотрен сменно-модульный комбайн КСМ – 5. Анализ показал, что для высококвалифицированной работы ягодоуборочных машин требуется специальная подготовка плантаций и использование сортов нового поколения. Сорт, для индустриальной технологии - является одним из главных факторов успешного использования ягодоуборочной техники. Изучалось 16 сортов смородины, выращиваемых в условиях машинной технологии. Длительное ведение исследований позволило определить последствие многократной уборки ягод техническими средствами. Все комбайны обеспечили высокие показатели качества сбора ягод (96 – 100%), количество повреждённых ягод не превышало 2%.

Ключевые слова: смородина чёрная, машинная уборка, ягодоуборочный комбайн, качество сбора ягод.

AN ANALYSIS OF THE TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL LEVEL OF BLACK CURRANT PRODUCTION

Review article

Zykov A.V.[1], Yunin V.A.[2], Zakharov A.M.[3, *] Egorova K.I.[4]

[1, 2, 3, 4] Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production, the Branch of Federal Research Center of Agriculture All-Union Research Institute of Agricultural Mechanization, Saint-Petersburg, Russia

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

Abstract

The article contains an analysis of the black currant production as well as the level of development of gardening in various countries. The study also presents data on harvesting equipment from various manufacturers: VictorZ, Korvan, Joanna-4, Ioonas, etc. in the field of horticulture and its applicability in different countries. In particular, the analysis is focused on the "KSM-5" modular combine harvester. The analysis demonstrates that the highly qualified work of berry harvesters requires special preparation of plantations along with the use of new-generation varieties. For industrial technology, variety is one of the main factors for the successful use of berry harvesting equipment. The study examines 16 varieties of currants grown in the conditions of machine technology. Long-term research allowed for determining the consequences of repeated harvesting of berries through technical means. All harvesters provided high-quality indicators of berry harvesting (96 – 100%), while the number of damaged berries did not exceed 2%.

Keywords: black currant, machine harvesting, berry harvester, quality of berry harvesting.

Введение

Смородина чёрная выращивается в 25 странах, преимущественно в Европе; Новой Зеландии, Австралии и США занимая небольшие площади. Ежегодно в мире производится 650-700 тыс. тонн, 95% мирового производства приходится на Европейские страны. Самыми крупными производителями являются Германия, Польша и Россия (77% мирового производства) [1].

В России ежегодно производится до 398 тыс. тонн ягод смородины чёрной, большая часть этого количества выращивается на садовых участках. В Польше производится 165 тыс. тонн. В Германии производство смородины чёрной составляет 16 тыс. тонн; во Франции - до 17 тыс. тонн. В Финляндии под смородиной насчитывается 100 га, а производство ягод составляет 60% от объёма производства ягод всех Скандинавских стран. Бельгия, Люксембург дают по 3 тыс. тонн продукции [2].

Польша по итогам 2020 года стала Европейским лидером производства яблок, малины и смородины чёрной. Было собрано 127 тыс. тонн малины и немногим меньше смородины. Польша остаётся лидером и по выращиванию вишни: в стране было выращено более 30% от всего вишнёвого урожая ЕС. Далее за Польшей по выращиванию вишни идёт Испания (11,9%), Италия (11,2%), Венгрия (9,9%), Румыния (8,2%) и Греция (7,9%). [1]. В Польше закладка ягодных насаждений в больших объёмах сопровождается рекламной акцией.

На Украине в настоящее время ягодные культуры малоразвиты (импорт фруктов составляет 60%). В Белоруссии смородина чёрная является ведущей культурой. В связи с Государственной целевой программой развития садоводства уже к 2009 году было посажено 1677,9 га ягодных культур, из них 13% площади занято под смородину и крыжовник. Белоруссия нацелена на производство собственной высококачественной продукции. В настоящее время в хозяйствах всех категорий республики имеется 104,5 тыс. га плодово-ягодных насаждений, в том числе в сельскохозяйственных организациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах - 43,8 тыс. га, из них садов интенсивного типа - 13 тыс. га.

Основная часть

Самым крупным производителем комбайнов по уборке ягод смородины и других кустарниковых ягодников является немецкая фирма WEKEMCZUK. Она производит сельхозтехнику для садоводства и овощеводства. Ею выпускаются прицепные полурядные комбайны (сбор ягод в одну сторону ряда), самоходные комбайны однорядные, прицепные однорядные комбайны. Ягодоуборочные комбайны этой фирмы работают в странах Европейского Союза, в Канаде и США.

Комбайн VictorZ предназначен для уборки ягод смородины, крыжовника, аронии и шиповника. Комбайн прицепной однорядный с точностью уборки свыше 90%, с производительностью - 0,3 – 0,6 чел. час. на 1 га. Агрегатируется комбайн с трактором 60 л.с. Комбайн снабжён двумя типами рабочих органов для сбора ягод смородины и крыжовника и для сбора аронии и шиповника. Имеется также приставка для сбора ягод с молодых кустов ниже 120 см. и уборки ягод от 20 см и выше уровня почвы.

Из серии комбайнов по уборке ягод смородины с одним стряхивателем распространен комбайн Joanna-3 односторонний прицепной, обеспечивает точность уборки урожая более 98%; производительность составляет 0,1-0,5 чел. час на 1 га. Минимальная мощность трактора – 30л.с. (22 кВт). Стандартная версия комбайна предназначена для уборки ягод в насаждениях с междурядьями 4м., версия Slim для насаждений с междурядьями 3,5м. В комплект с комбайном входит машина для обрезки кустов Roch. Модель Joanna-4 с одним стряхивателем прицепная полурядная с гидравлической регулировкой оборотов стряхивателя; гарантирует 100% эффективность уборки при минимальной потере ягод. Грузоподъемность комбайна 650 кг.

Фирма выпускает также комбайны ля сбора ягод других культур. Например, прицепной полурядный комбайн Natalia работает при многократном стряхивании малины (площадь 7 – 9 га). Комбайн агрегатируется с трактором 47 л.с. Полурядный комбайн Natalka (площадь уборки не менее 3 – 4 га.) агрегатируется с трактором 35 л.с. предназначен в основном для уборки ягод малины.

В США крупная фирма OX – 139 выпускает до 100 прицепных ягодоуборочных комбайнов Korvan. Эта фирма входит в состав Нидерландского «ПльогерОксбо Групп» - крупнейшего в мире производителя ягодоуборочных комбайнов. В России, Белоруссии и на Украине есть единичные комбайны этой фирмы.

В Польше используются комбайны Joanna-3 и Joanna-4, обеспечивающие уборку ягод смородины черной, однако распространены преимущественно комбайны американской фирмы Korvan (более 40 машин), несмотря на то что имеется собственное производство ягодоуборочной техники.

В Великобритании наиболее успешно используются ягодоуборочные комбайны поточного типа с делением куста фирмы Small-ford Plantere Small-ford и Patenden. При производительности комбайна Plantere Small-ford 0,8 – 1,2 га.час. осуществляется замена 300 рабочих. Комбайн Patenden более мощный. Он снабжен двумя прицепами, сменяемыми на разворотных полосах с помощью двух бригад из пяти рабочих в каждой. В результате повышения производительности труда заменяется на съёме урожая 500-600 рабочих. Уборка ягод комбайном производится в зоне не ниже 30см. от поверхности почвы. Насаждения смородины чёрной закладываются по схеме (2,8 – 3,0) х (0,6 – 0,9 м).

В Финляндии производится самоходный однорядный комбайн Ioonas, снабженный комплексом машин садового назначения. Усовершенствование это комбайна фирмой PakenJoustempo начато еще в 80-е годы прошлого столетия [3].

В России уборка урожая смородины с помощью сменно-модульного комбайна КСМ – 5 может заменить труд более 300 человек и обеспечить сбор до 900 кг. ягод за один час работы.

Комбайн предназначен для выполнения основного цикла работ по возделыванию и уборке урожая чёрной и красной смородины, крыжовника, черноплодной рябины и шиповника в системных кустарниковых насаждениях при непрерывном движении. Может убирать ягоды как для реализации в свежем виде, так и для переработки.

Работает на склонах до 5° в кустарниковых насаждениях с междурядьем 2,5-3м. и расстоянием между кустами в ряду 0,5 – 1м (предпочтительно – 0,5-0,7м). Сменно-модульный комбайн КСМ – 5, кроме уборки ягод может выполнять технологические операции, связанные с обработкой почвы в междурядьях, борьбой с болезнями и вредителями и контурной обрезкой ягодных кустарников посредством замены сменных рабочих модулей.

Первоначальные результаты применения ягодоуборочных комбайнов на промышленных плантациях ягодных кустарников 70–е годы в Великобритании, Польше, Болгарии, Венгрии, в СССР показали, что убранные комбайном ягоды по качеству не уступают ягодам, собранным вручную, но для высококвалифицированной работы ягодоуборочных машин требуется специальная подготовка плантаций и использование сортов нового поколения.

В России вначале использовались электроягодоуборочные машины ЭЯМ – 200-8 для стряхивания ягод ручными вибраторами. Эта техника не решала проблемы полной механизации трудоёмких процессов по уборке урожая. Был создан отечественный комбайн МПЯ (ГКБ «Плодсельхоз», НИЗИСНП, ВИСХОМ, ВНИИС им И.В. Мичурина). Первые 4 машины прошли испытание в хозяйствах Рязанского треста «Плодопром» (100 га.) и в Ленинградской области (ЛПООС). Совхозам Лужского района, где был убран урожай смородины на площади 50 га были применены ЭЯМ – 200 – 8. Научных исследований по вопросу ягодоуборочных комбайнов и промышленных технологий возделывания ягодных кустарников немного.

Основательные исследования по разработке промышленной технологии осуществлены в НИИС им И.В. Мичурина [4], [5]. Специализированный комплекс машин включает машины, выпуск которых осваивает Иженерный центр «Садпитомникмаш» в городе Мичуринске. На уборке урожая смородины чёрной применены отечественный комбайн МПЯ – 1 и комбайн из Великобритании Small-ford.

Разработанная индустриальная технология обеспечивает рентабельное производство при урожайности 4 – 6 т. с 1 га, качество продукции не ниже первого и второго товарных сортов, затраты труда не более 50 чел.-час. на 1 тонну продукции. Технология включает все составные части агротехнического комплекса, относящиеся к природным условиям Чернозёмной зоны (выбор места под насаждения, сортимент и др.) Разработаны основы методики отбора сортов смородины для промышленного возделывания культуры, в том числе и сортов пригодных для механизированной уборки урожая. Эта методика дополнена и сформулирована в методическом пособии [6].

Сорт для индустриальной технологии отнесён к одному из главных факторов успешного использования ягодоуборочной техники [7], [8]. Составлен список выделенных сортов, обеспечивающих продолжительность непрерывного сбора ягод до 35 дней. Подбор соответствующих сортов является динамичным процессом. Сорта нового поколения приходят на смену предшествующим сортам [9].

Наряду с разработкой индустриальной технологии разработана ресурсосберегающая технология возделывания смородины чёрной (1993 – 2003 гг.).

В качестве фактора органического земледелия использовано постоянное задернение почвы междурядий многолетними травами (дерново-мульчевая система). Для этой цели служит козлятник восточный, высеваемый под покров ячменя за 1-2 года до посадки смородины [10]. В рядах почва мульчируется скошенной травой.

Ко второму фактору органического земледелия отнесено комплектование очередного поля культурооборота набором небольших участков с высокой степенью садопригодности и полным соответствием биологическим особенностям культуры. Рекомендован период эксплуатации насаждения продолжительностью в 10 лет. Таким образом, примерная схема ресурсосберегающей технологии, построенной на отдельных приёмах органического земледелия, включает следующие элементы: расширение агроценоза, за счёт введения постоянного задернения почвы, адаптивные сорта нового поколения, механизированные приёмы возделывания и уборки урожая с помощью комплекса машин без применения химикатов. Ресурсосберегающая технология обеспечивает урожайность на уровне 6-8 т. с 1 га, качество сбора на уровне 80% стандартной продукции, затраты труда – 25 чел. час. на одну тонну ягод.

Одним из первых опытов машинной технологии возделывания смородины чёрной в стране был проведён на Ленинградской плодоовощной опытной станции в течение 12 лет, в период 1978-1990гг.

Комплекс технических средств, обеспечивавший полную механизацию агротехнологических процессов, состоял из следующих машин:

Чизель (предпосадочная подготовка почвы); Фреза – ПФ – 0,76; Ягодоуборочные комбайны –Йоонас - 1000 (Финляндия), Урсус (Польша), МПЯ, МПЯ – 1 (НИЗИСП), электроягодоуборочная машина ЭЯМ – 200 – 8; Контурный обрезчик кустов.

Оценка ягодоуборочных средств осуществлялась на фоне двух систем возделывания смородины чёрной – интенсивная технология (размещение растений по схеме 2 х 0,6 м., единовременное внесение основных удобрений) и обычная региональная технология (размещение растений по схеме 3 х 0,6 м., дробное внесение основных удобрений). Изучалось 16 сортов смородины, выращиваемых в условиях машинной технологии.

Длительное ведение исследований позволило определить последствие многократной уборки ягод техническими средствами, результаты применения контурного обрезчика в процессе восстановления растений.

Все комбайны обеспечили высокие показатели качества сбора ягод (96 – 100%), количество повреждённых ягод не превышало 2%. По производительности уборки на площади ягодника (га. смена) выделяется комбайн Йоонас – 1000, по количеству собранных ягод (ц. час.) – Урсус. Комбайн марки Урсус производит более мягкое отделение ягод с наименьшим повреждением веток (0–12%), другие комбайны деформируют ветви больше (0–22%). Отечественный комбайн МПЯ – 1 показывает положительный эффект уборки ягод, но с более низкими показателями производительности по убранной площади и по количеству собранных ягод. Применение ягодоуборочных комбайнов позволяет повысить производительность труда на сборе ягод до 30-40 раз.

Ширина междурядий 2м. (при схеме размещения 2 х 0,6 м.) мала для работы крупногабаритной техники, создаются условия поломки ветвей (до 25%). При интенсивной агротехнологии растения реализовали основной продуктивный потенциал за 2 – 3 года, при обычной технологии – за 4 – 5 лет.

Сорт является наиболее существенным фактором эффективности машинной уборки урожая. По результатам исследований изученные сорта сгруппированы в 4 группы по следующим признакам: способность к восстановлению куста за счёт прикорневых почек и обновления ветвей, побегопроизводительная способность, гибкость ветвей, сохраняемость листьев, тип плодовых образований. От этих показателей зависит кратность применения ягодоуборочной техники, определение сорта к восстановлению продуктивности. Данный подход к оценке сортов может явиться основой методики предварительного отбора сортов, пригодных к машинной уборке ягод.

На основе научных исследований, обобщения опыта садоводческих хозяйств, государственных испытаний машин для садоводства предложен ВСТИСП новый набор машин для механизации производственных процессов.

Комбайн сменно – модульный (КСМ - 5) обеспечивает комплексное использование машин и организацию поточной работы, позволяет механизировать различные взаимосвязанные операции единого технологического процесса. Тогда как применение комплекса разрозненных машин, механизирующих взаимосвязанные операции, не сочетаются между собой по производительности и выполняют только основные работы [11].

У комбайнов сменно – модульных, навесные модули агрегатируются с высококлиренсным энергетическим средством ВЭС-45. Базой является силовая установка трактора ВТЗ – 2048 или ВТЗ – 2048А.

В состав комбайна входят отдельные модули:

ОМУ – 600 (КСМ – 5 – 01) – опрыскиватель; КФ – 4 (КСМ – 5 – 02) – фрезерный культиватор; КП – 4 (КСМ – 5 – 03) – пропашной культиватор; ОК – 1 (КСМ – 5 – 04) – контурный обрезчик кустов; АП – 8 (КСМ – 5 – 07) – (агрегат пневматический) обрезчик кустов.

КСМ – 5 в комплексе с уборочным модулем (самоходный комбайн) обеспечивает поточную уборку ягод целого ряда. Производительность в час основного времени при ширине междурядий 3 м. и урожае не менее 3т. – 0,9 га.

Комплексное и производительное техническое средство, каким является КСМ – 5, соответствует малоконтурности земельных площадей и выборочному характеру земледелия Северо-Запада.

Во ВСТИСП продолжена работа по совершенствованию комбайна КПЯ – 1, ведётся разработка конструкции улавливателя, позволяющая повысить эффективность и стабильность улавливателя ягод. Проведён анализ информационных ресурсов, востребованных для построения машинных агротехнологий, и установлен приоритет марочного состава используемых и требуемых технических средств для механизации ягодоводства [12]. Появилась перспектива построения и управления машинной технологией возделывания смородины чёрной посредством компьютерной модели автоматизированного рабочего места технолога – ягодовода на основе ведения управления базами данных [13]. Такая программ может способствовать повышению эффективности реализации потенциальной производительности технических средств, сокращению производственного риска путём оперативного управления технологическим процессом.

Заключение

1. Становление и развитие промышленного производства ягод смородины чёрной в России возможно при осуществлении Государственной поддержки отрасли, путём установления Госдотации на закладку насаждений и содержание молодых ягодников. Примером служат меры по развитию ягодоводства, принятые в Польше и Белоруссии.

2. В мировой практике ягодоводства задействован значительный арсенал ягодоуборочной техники как прицепного, так и самоходного типа: полурядные и однорядные комбайны, обеспечивающие поточную уборку ягод.

3. Наиболее крупными фирмами, производящими ягодоуборочную технику, являются немецкая фирма WEKEMCZUK (комбайны VictorZ, Joanna-3, Joanna-4); американская фирма OX – 139 (комбайн Korvan); фирма Великобритании Small-fordPlantere (комбайны Small-fordи Patenden). Кроме распространённых зарубежных ягодоуборочных комбайнов ряд стран производит свою ягодоуборочную технику – Польша - самоходный комбайн Ursus, Финляндия – самоходный комбайн Joonas – 1000.

4. В России в 70 – 80 годах проведены исследования по разработке промышленных технологий смородины чёрной с использованием ягодоуборочной техники (ВНИИС, ЛПООС). В дальнейшем научная работа НИИ РФ проводится по оценке и отбору сортов смородины чёрной, пригодной для механизированной уборки урожая, по разработке приёмов формирования кустов и др. без применения ягодоуборочной техники.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Мировой рынок фруктов: особенности и тренды [Электронный ресурс]. – URL: https://nart.ru/2020/07/10/mirovoj-rynok-fruktov-osobennosti-i-trendy/ (дата обращения: 12.04.2021)

2. Перекопкий А.Н. Методология построения зонально-адаптивной машинной технологии производства плодов и ягод с минимальным антропогенным риском для качества продукции и окружающей среды / А.Н. Перекопкий и др.// Известия МААО. 2018. № 41-2. С. 65-70.

3. Варламов Г.П. Комплекс машин на базе самоходного комбайна «ЙООНАС» / Варламов Г.П., Стрегач А.П / Трактора и с.-х. машины, 1989. №1. С.55-56

4. Якименко О.Ф. Индустриализация технологии возделывания чёрной смородины / О.Ф. Якименко // Пути повышения устойчивости садоводства. Сб.науч. тр. ВНИИС им. И.В. Мичурина. Мичуринск. 1988. С.170-177.

5. Яковенко О.Ф. Агроэкологическое выращивание смородины чёрной в условиях ЦЧЗ / О.Ф. Якименко // Основные итоги и перспективы научных исследований ВНИИС им. И.В. Мичурина. Тамбов. 2001. С.121-137.

6. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Под общей редакцией акад. Е.Н. Седова и Т.П. Огольцевой. Изд. ВНИИСПК. Орёл.1999. С.184-186.

7. Коровин К.Л. Оценка индустриальных сортов смородины чёрной по хозяйственно полезным признакам / К.Л. Коровин // Роль отрасли плодоводства в обеспечении продовольственной безопасности и устойчивости экономического роста: Материалы международной научной конференции, Самохвалович, 23-25 авг. 2001. С. 60-64.

8. Перспективная ресурсосберегающая технология для ягодных кустарниковых насаждений. Методические рекомендации, подготовленные под руков. акад. И.М. Куликова. ФГБНУ «Росинформагротех», 2009. 52 с.

9. Краюшкина Н.С. Обоснование хозяйственно-биологических свойств и пригодности к машинной уборке урожая сортов и селекционных форм смородины черной / Н.С. Краюшкина и др. // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2020. № 2 (103). С. 64-72.

10. Яковенко О.Ф. Ресурсосберегающая технология возделывания смородины чёрной. / О.Ф. Яковенко, И.В. Суслина // Науч. основы эффективного садоводства. Тр. ВНИИС, 75 лет со дня основания Мичуринск-наукоград РФ, 2006 С. 284-298.

11. Круглов Н.М. Экологическая технология производства ягод смородины чёрной. Учебное пособие / Н.М. Круглов, О.Ф. Якименко // ВГАУ им. К.Д. Глинки. Воронеж, 1996. 57с.

12. Нефёдов В.В. Оценка местоположения плантаций и усовершенствования технологии выращивания смородины чёрной на Северо-западе России. / В.В. Нефёдов //Автореферат канд. с.-х. наук. СПб Пушкин, 1992. 16 с.

13. Хорт Д.О. Построение машинной технологии возделывания смородины чёрной / Д.О. Хорт/ Автореферат канд. с/х. наук ВСТИСП, м., 2011.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Mirovoj ry`nok fruktov: osobennosti i trendy` e`lektronny`j resurs [World fruit market: features and trends электронный electronic resource] https://nart.ru/2020/07/10/mirovoj-rynok-fruktov-osobennosti-i-trendy (accessed: 12.04.2021) [in Russian]

2. Perekopkij A.N. Metodologiya postroeniya zonal`no-adaptivnoj mashinnoj texnologii proizvodstva plodov i yagod s minimal`ny`m antropogenny`m riskom dlya kachestva produkcii i okruzhayushhej sredy` [Methodology for constructing a zonal-adaptive machine technology for the production of fruits and berries with minimal anthropogenic risk for product quality and the environment] / A.N. Perekopkij et al. // Izvestiya MAAO. 2018. № 41-2. P. 65-70. [in Russian]

3. Varlamov G.P., Stregach A.P. Kompleks mashin na baze samoxodnogo kombajna «JOONAS» [Complex of machines based on the self-propelled combine "JOONAS"] / Varlamov G.P., Stregach A.P / Traktora i s.-x. mashiny`, 1989. №1. P.55-56 [in Russian]

4. Yakimenko O.F. Industrializaciya texnologii vozdely`vaniya chyornoj smorodiny`.[Industrializatsiya tekhnologii vozdelivaniya chernoy currant.] / O.F. Yakimenko // Puti povy`sheniya ustojchivosti sadovodstva. Sb.nauch. tr. VNIIS im. I.V. Michurina. Michurinsk. 1988. P.170-177. [in Russian]

5. Yakovenko O.F. Agroe`kologicheskoe vy`rashhivanie smorodiny` chyornoj v usloviyax CzChZ. [Agroecological cultivation of black currant in the conditions of the CCHZ.] / O.F. Yakimenko // Osnovny`e itogi i perspektivy` nauchny`x issledovanij VNIIS im. I.V. Michurina. Tambov. 2001. P.121-137. [in Russian]

6. Programma i metodika sortoizucheniya plodovy`x, yagodny`x i orexoplodny`x kul`tur. [Program and methodology of variety study of fruit, berry and nut crops] / ed. by E.N. Sedova i T.P. Ogol`cevoj. Publishing house VNIISPK. Oryol.1999. P.184-186. [in Russian]

7. Korovin K.L. Ocenka industrial`ny`x sortov smorodiny` chyornoj po xozyajstvenno polezny`m priznakam. [Evaluation of industrial varieties of black currant according to economically useful characteristics.] / K.L. Korovin // Rol` otrasli plodovodstva v obespechenii prodovol`stvennoj bezopasnosti i ustojchivosti e`konomicheskogo rosta: Materialy` mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Samoxvalovich, 23-25 avg. 2001. P. 60-64. [in Russian]

8. Perspektivnaya resursosberegayushhaya texnologiya dlya yagodny`x kustarnikovy`x nasazhdenij. [Perspective resource-saving technology for berry shrub plantations.] Metodicheskie rekomendacii, podgotovlenny`e pod rukov. akad. I.M. Kulikova. FGBNU «Rosinformagrotex», 2009. 52 p. [in Russian]

9. Krayushkina N.S. Obosnovanie xozyajstvenno-biologicheskix svojstv i prigodnosti k mashinnoj uborke urozhaya sortov i selekcionny`x form smorodiny` chernoj [Justification of economic and biological properties and suitability for machine harvesting of varieties and breeding forms of black currant] / N.S. Krayushkina et al. // Texnologii i texnicheskie sredstva mexanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2020. № 2 (103). P. 64-72. [in Russian]

10. Yakovenko O.F. Resursosberegayushhaya texnologiya vozdely`vaniya smorodiny` chyornoj. [Resource-saving technology of black currant cultivation.] / O.F. Yakovenko, I.V. Suslina // Nauch. osnovy` e`ffektivnogo sadovodstva. Tr. VNIIS, 75 let so dnya osnovaniya Michurinsk-naukograd RF, 2006 P. 284-298. [in Russian]

11. Kruglov N.M. E`kologicheskaya texnologiya proizvodstva yagod smorodiny` chyornoj. Uchebnoe posobie [Ecological technology of production of black currant berries. Textbook] / N.M. Kruglov, O.F. Yakimenko // VGAU im. K.D. Glinki. Voronezh, 1996. 57 p. [in Russian]

12. Nefyodov V.V. Ocenka mestopolozheniya plantacij i usovershenstvovaniya texnologii vy`rashhivaniya smorodiny` chyornoj na Severo-zapade Rossii. [Assessment of the location of plantations and improvements in the technology of growing black currant in the North-West of Russia.] / V.V. Nefyodov // Avtoreferat kand. s/x. nauk. SPb Pushkin, 1992. 16 p. [in Russian]

13. Xort D.O. Postroenie mashinnoj texnologii vozdely`vaniya smorodiny` chyornoj [Stroitelstvo mashinoi tekhnologii vospelyvaniya smorodiny chernoy] / D.O. Xort. Avtoreferat kand. s/x. nauk VSTISP, m., 2011. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.010

ВЛИЯНИЕ СКАРИФИКАЦИИ НА ПРОЧНОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ СЕМЯН БОБОВЫХ ТРАВ

Научная статья

Рожков Г.А.[1, *], Перекопский А.Н.[2]

[1, 2] Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

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

Аннотация

В статье представлена и обоснована актуальность направления ведения исследований по скарификации многолетних семян трав бобовых. Обозначена цель исследований, её направление повышение эффективности скарификации семян многолетних бобовых трав. Описаны характеристики козлятника восточного и его возможное дальнейшее применение в различных направления производственной деятельности. Приведён анализ существующих способов предпосевной обработки семян многолетних бобовых трав (козлятника). Представлены машины, их характеристики и недостатки, которые в настоящее время применяют для обработки семян перед посевом. Сделан вывод, что применение скарификации помогает получить более высокие показатели всхожести семян.

Ключевые слова: скарификация, семена, бобовые травы, всхожесть.

ON THE EFFECT OF SCARIFICATION ON THE SURFACE STRENGTH OF LEGUME SEEDS

Research article

Rozhkov G. A. [1,*], Perekopskiy A. N. [2]

[1, 2] Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production, branch of the All-Union Research Institute of Agricultural Mechanization, Saint Petersburg, Russia

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

Abstract

The article presents and substantiates the relevance of the research on the scarification of perennial legume seeds. The aim of the study is to increase the efficiency of scarification of perennial legume seeds. The study describes the characteristics of Galega orientalis and its possible further application in various areas of production activity along with providing an analysis of existing methods of pre-sowing seed treatment of perennial legumes (Galega orientalis). The research presents the machines, which are currently used for processing seeds before sowing, and defines their characteristics and disadvantages. It is concluded that scarification contributes to obtaining higher seed germination rates.

Keywords: scarification, seeds, legumes, germination.

Введение

Продовольственная безопасность государства зависит, в основном, от его способности и возможности само обеспечения продовольственной продукцией. Так как производство молока и мяса на прямую зависит от количества и качества потребляемого корма животными, производство высокопитательных кормов является актуальной задачей, а увеличение в рационах крупного рогатого скота количества высококачественного сена и сенажа из однолетних и многолетних злаково-бобовых смесей позволит повысить обеспеченность животных белком, минеральными и витаминными компонентами, что положительно скажется на продуктивности животных в виде молочной продукции и продуктивной массы. Основной причиной повышения значения такого показателя, как расход семян бобовых трав в процессе их посева являются их твердокаменность и высокая прочность поверхностной плёнки, она сдерживает набухание зёрен, а также не позволяет им прорастать [1, С. 16], [2, С. 34]. Как правило, такое развитие событий приводит к большой временной паузе в процессе всхода семян, а в крайнем случае даже к частичной потере ранее посеянных семян. Козлятник восточный – многолетнее растение семейства бобовых, травостой используется 10-15 лет. Зелёная масса богата витаминами, каротином, содержит все нужные аминокислоты, много лейцина и лизина, сахарный минимум 5-6 %. Травостой используется на заготовление зелёного корма, силоса, сена, травяной муки, а также для выпаса [3, С. 25], [4, С. 154].

Целью исследований является повышение эффективности скарификации семян многолетних бобовых трав.

Методы и принципы исследования

На сегодняшний день снижать твёрдость оболочки семян бобовых трав можно применяя различные способы воздействия, среди них основными являются: химическая обработка (применение серной кислоты), термическая обработка (прогревая и промораживая), радиочастотная обработка (электромагнитным полем), ультразвуковая обработка и механическая (скарификация). Наиболее доступным, простым и производительным является механический способ нарушения герметичности, покрывающей плёнки семян. Однако, применяемые для этой цели скарификаторы малоэффективны, имея рабочие органы высокой твёрдости с абразивным (истирающим) эффектом и высокую скорость воздействия на семена, слишком сильно повреждают и травмируют рабочий материал при его обработке. Помимо этого, устройство для дозировки, устройство для подачи и распределения у скарификаторов не всегда могут обеспечить равномерную подачу материала к рабочему органу, а это также может и будет отрицательно влиять на качество обработки [5], [6], [8]. Для того, чтобы устранить обозначенные недостатки необходимо усовершенствовать скарификатор путём модернизации рабочих органов, позволяющих обеспечить необходимую и стабильную деформацию семян многолетних трав для получения более высокого качества обработки материала.

Основные результаты

Основной целью эксперимента является проверка теоретических положений (подтверждение рабочей гипотезы), а также более широкое и глубокое изучение темы научного исследования. В нашем исследовании планируется проверить следующие рабочие гипотезы: возможность воздействия на семена многолетних бобовых трав вращающихся (с различными частотами) рабочих органов, за счёт сил инерции, позволяющие подготавливать продукт за минимальное время с максимальной эффективностью; выявление зависимости количества и частоты вращения рабочих органов на качество предпосевной обработки семян многолетних бобовых трав, обрабатываемых с помощью экспериментального скарифицирующего устройства; выявление зависимости от изменения угла подачи сырья на качество предпосевной обработки семян многолетних бобовых трав, обрабатываемых с помощью экспериментального скарифицирующего устройства. А также возможность изменения количества рабочих органов в ходе эксперимента для выявления чётких зависимостей качества обработки семян от количества рабочих органов и скоростей их вращения.

Семена козлятника имеют трудную по проницаемости, как для воды, так и для воздуха оболочку. Твёрдость семян зачастую достигает 30 %, поэтому скарификация является обязательной. Важно отрегулировать скарификаторы и клеверотёрки, чтобы семена не дробились. Маленькие партии семян можно обработать вручную наждачной бумагой. Скарификация повышает всхожесть до 82-95 %. Необходимо помнить, что скарифицированные семена долго не хранятся и быстро теряют всхожесть [9, С. 118], [10].

В данном исследовании предлагается сравнивать несколько видов механической предпосевной обработки семян многолетних бобовых трав на примере козлятника восточного:

1. Классический способ обработки путём воздействия материала Р80 с временем воздействия на семена 10 минут.

2. Экспериментальный способ, штифтовым, экспериментальным устройством с трёх рядными рабочими органами с нанесённой режущей поверхностью, время воздействия 1-2 с:

- прямая подача сырья на 3-х частотах вращения (500-1000-1500 об/мин);
- направленная подача сырья на трёх частотах вращения (500-1000-1500 об/мин).

3. Обработка инерционным устройством с умышленным превышением частоты вращения рабочих органов с временем воздействия 10-15 с:

- исследование без ограничения траектории после контакта с рабочими органами на частоте вращения 16000 об/мин;
- исследование повреждений семян с ограничением траектории после контакта с рабочими органами на частоте вращения 16000об/мин;

Опыты планируется провести в 3-х кратной повторности и получить контрольную партию для испытания на всхожесть.

Местом проведения экспериментальных исследований будут служить внутренние производственные мощности ИАЭП - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

Способ обработки семян многолетних бобовых трав должен обеспечивать запрограммированную, необходимую деформацию (повреждение) семян, без повреждения зародыша, что обеспечивает лучшие результаты по всхожести и позволяет сократить затраты и норму высева. Существующие образцы машин, которые используются для данной операции в состоянии обеспечить условно удовлетворительную обработку, но имеют недостатки в виде низкого качества обработки семян ввиду чрезмерного контакта семян с рабочими органами, особенно это касается самых распространённых машин с абразивным принципом воздействия.

Опытный образец планируется сравнивать с популярными моделями на рынке с/х техники, такими как: СКР 300 (фрикционно-дисковое), СК 300 (инерционное).

a

b

Рис. 2 – Серийные модели скарификаторов:
a – СКР 300 (фрикционно-дисковое), производительность, кг/ч 300, мощность привода 3кВт; *b* – СК 300 (инерционное), производительность, кг/ч 300, мощность привода 1.1кВт

Данные образцы имеют обоснованные параметры и пригодны для предпосевной обработки семян многолетних бобовых трав, но при своих достоинствах они имеют ряд недостатков, а именно: высокая стоимость, избыточно долгий контакт семенного материала с рабочими органами, низкий уровень запрограммированной деформации в связи с неконтролируемыми процессами в ходе обработки.

Заключение

Для семян с твёрдой оболочкой, таких, как у многолетних бобовых трав, семена целесообразно сначала скарифицировать, то есть нарушить целостность оболочки для облегчения попадания влаги внутрь семени. Создать

трещины в кожуре семени нужно так, чтобы не повредить жизнеспособность семенного материала и создать условия для ускоренного поступления воды внутрь семени. Специально предназначенная для этих целей машина-скарификатор во многих хозяйствах отсутствует, поэтому её разработка является актуальной задачей на сегодняшний день.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Попов В.Д. Организационно-технологические аспекты эффективности заготовки кормов в хозяйствах ленинградской области / В.Д. Попов, А.Н. Перекопский, В.Н. Горнак // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2003. – № 75. – С. – 14 – 21.

2. Сагалбеков У.М. Проблемы семеноводства многолетних трав / У.М. Сагалбеков // Аграрный сектор. – 2010. - № 1 (3) – с.34-35.

3. Попов В.Д. Пути развития кормовой базы в северо-западном регионе России / В.Д. Попов, В.М. Могильницкий, А.Н. Перекопский и др. // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2001. – № 72. – С. – 22 – 27.

4. Перекопский А.Н. Ресурсосберегающие технологии производства кормов в условиях Северо-Западного региона РФ // В сборнике: Экология и сельскохозяйственная техника. материалы 4-й научно-практической конференции. 2005. – С. – 152 – 159.

5. Оразбаев С. Влияние скарификации на твердосемянность многолетних бобовых трав / С. Оразбаев, Б. Салакшинова, Г. Мендибаева и др. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. № – 12 – 2 (19). – Стр. – 14 – 16.

6. Хасанов Э.Р. Универсальный пневматический скарификатор / Э.Р. Хасанов, Р.Р. Камалетдинов // Патент на изобретение RU 2683484 C1, 28.03.2019. Заявка № 2018126566 от 18.07.2018.

7. Rafiei Z. Assessment of effective factors on breaking seed dormancy in Prunus dulcis (Mill.) D.A. Webb / Z. Rafiei, V. Rouhi // Acta Horticulturae. Vol. 1249, 2019, Pages 167-173.

8. Murugesan P. Hybrid seed germination in oil palm (Elaeis guineensis) affected by innovative dormancy breaking techniques / P. Murugesan, M. Shareef // Indian Journal of Agricultural Sciences Vol. 84, p. 1542-1545.

9. Хасанов Э.Р. Обоснование показателей качества работы скарификатора семян козлятника / Э.Р. Хасанов, Д.И. Маскулов, Р.З. Мусин // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2019. – № 3 (51). С. – 114 – 120.

10. Myint T. Germination of seed of oil palm (Elaeis guineensis Jacq.) as affected by different mechanical scarification methods / T. Myint, W. Chanprasert, S. Srikul // Seed Science and Technology. Vol. 38, 2010, Pages 635-645.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Popov V. D. Organizacionno-tekhnologicheskie aspekty effektivnosti zagotovki kormov v hozyajstvah leningradskoj oblasti [Organizational and technological aspects of the efficiency of feed procurement in the farms of the Leningrad region] / V. D. Popov, A. N. Perekopsky, V. N. Gornak // Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva [Technologies and technical means of mechanized production of crop production and animal husbandry]. 2003. - No. 75. - p. - 14-21. [in Russian]

2. Sagalbekov U. M. Problemy semenovodstva mnogoletnih trav [Problems of seed production of perennial herbs] / U. M. Sagalbekov // Agrarnyj sektor [Agrarian sector]. – 2010. -№ 1 (3) – pp. 34-35. [in Russian]

3. Popov V. D. Puti razvitiya kormovoj bazy v severo-zapadnom regione Rossii [Ways of developing the feed base in the north-western region of Russia] / V. D. Popov, V. M. Mogilnitsky, A. N. Perekopsky et al. // Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva [Technologies and technical means of mechanized production of crop production and animal husbandry]. 2001. - No. 72. - p. - 22-27. [in Russian]

4. Perekopsky A. N. Resursosberegayushchie tekhnologii proizvodstva kormov v usloviyah Severo-Zapadnogo regiona RF [Resource-saving technologies of feed production in the conditions of the North-Western region of the Russian Federation] / A. N. Perekopsky // V sbornike: Ekologiya i sel'skohozyajstvennaya tekhnika. materialy 4-j nauchno-prakticheskoj konferencii [In the collection: Ecology and agricultural machinery. materials of the 4th scientific and practical conference]. 2005. - p. - 152-159.

5. Orazbayev S. Vliyanie skarifikacii na tverdosemyannost' mnogoletnih bobovyh trav [Effect of scarification on verdoemenis perennial legumes] / S. Orazbayev, B. Malakshinova, G. Mendibaeva etc. // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. – 2013. № – 12 – 2 (19). – P. 14 – 16. [in Russian]

6. Khasanov R. E. Universal'nyj pnevmaticheskij skarifikator [Universal pneumatic scarifier] / E. R. Khasanov R. R. Kamaletdinov // Patent for invention RU 2683484 C1, 28.03.2019. Application no. 2018126566 dated 18.07.2018. [in Russian]

7. Rafiei Z. Assessment of effective factors on breaking seed dormancy in Prunus dulcis (Mill.) D.A. Webb / Z. Rafiei, V. Rouhi // Acta Horticulturae. Vol. 1249, 2019, Pages 167-173.

8. Murugesan P. Hybrid seed germination in oil palm (Elaeis guineensis) affected by innovative dormancy breaking techniques / P. Murugesan, M. Shareef // Indian Journal of Agricultural Sciences Vol. 84, p. 1542-1545.

9. Khasanov E. R. Obosnovanie pokazatelej kachestva raboty skarifikatora semyan kozlyatnika [Substantiation of indicators of the quality of the work of the goatgrass seed scarifier] / E. R. Khasanov, D. I. Maskulov, R. Z. Musin // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Bashkir State Agrarian University]. 2019. - No. 3 (51). p. - 114-120. [in Russian]

10. Myint T. Germination of seed of oil palm (Elaeis guineensis Jacq.) as affected by different mechanical scarification methods / T. Myint, W. Chanprasert, S. Srikul // Seed Science and Technology. Vol. 38, 2010, Pages 635-645.

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.011

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ИГРЫ В РАЗНОВИДНОСТЬ ПОКЕРА «ТЕХАССКИЙ ХОЛДЕМ»

Научная статья

Лаврик А.Е.[1, *], Тропченко А.А.[2]
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (56111[at]mail.ru)

Аннотация

Методы агентного обучения стремительно набирают популярность в исследованиях, но поиски новых методов для практического применения в задачах с неполной информацией все еще активно ведутся. Игра в разновидность покера “Техасский холдем” является одной из самых удобных задач для проведения исследования т.к. все еще является нерешенной и является показательным примером мультиагентной системы с неполной информацией. В данной статье проводится сравнительный анализ методов агентного моделирования при помощи обучения алгоритмов игре в разновидность покера «Техасский холдем». Данное исследование ставит своей целью показать слабые и сильные стороны различных подходов в обучении агента. В исследовании применяются алгоритмы использующие нейронные сети для обучения и численные методы решения задач. Результатом исследования является данные по скорости обучения и результатам игры с шагом по эпохам обучения.

Ключевые слова: Нейронные Сети, обучение с подкреплением, Агент, Покер.

A COMPARISON OF AGENT-BASED MODELING METHODS VIA TEXAS HOLD 'EM

Research article

Lavrik A.E.[1, *], Tropchenko A.A.[2]
ITMO University, Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (56111[at]mail.ru)

Abstract

Agent-based learning methods are rapidly gaining popularity in research, but the search for new methods for practical application in problems with incomplete information is still actively underway. Playing the Texas Hold'em poker is one of the most convenient tasks for conducting research, as it is still unsolved and is a good example of a multi-agent system with incomplete information. The current study presents a comparative analysis of the methods of agent-based modeling by teaching algorithms to play Texas Hold'em poker. This study aims to demonstrate the strengths and weaknesses of different approaches to agent training with the help of algorithms that use neural networks for training and numerical methods for solving problems. The results of the study are presented in the form of data on the learning rate and the results of the game in epoch increments.

Keywords: Neural Networks, Reinforcement learning, Agent, Poker.

Введение

Целью данной работы является повышение эффективности прогнозирования игровых ситуаций мультиагентными системами с использованием технологий искусственного интеллекта.

Искусственный интеллект стремительно совершенствуется. За последние два десятилетия алгоритмы машинного обучения превзошли лучших мировых игроков таких играх, как: нарды, шашки, шахматы, «Своя Игра» (Jeopardy!), видеоигры Atari [1]. Известная победа в Го, стала одним из главных прорывов в области машинного обучения в играх за последние годы. Решения данных задач приводит к открытию новых методов работы с данными и обучения ИИ, что очень важно для науки, поэтому ежегодно проводится множество соревнований для машин, где люди пытаются совершенствовать алгоритмы, внедрять новейшие подходы, исследовать и сравнивать существующие методы работы с данными.

Показательным примером сложной среды со всеми описанными нами свойствами является игра в покер [2]. В ней есть и неполнота информации о картах, и стратегии участвующих игроков, и элемент случайности, связанный с раздачей карт, и другие описанные нами трудности, возникающие во время игры. Более того, количество возможных состояний игры, характеризующих игровые ситуации, огромно.

Несмотря на кажущуюся мало применимость покерных ботов к реальным задачам, их развитие принесло множество методов, которые с карточной игры можно перенести на практику. Алгоритмы современных покерных ботов, одолевающих лучших человеческих игроков, универсальны и в целом направлены на обучение агентов в средах с неполной и асимметричной информацией [3]. Их можно перенести на множество приложений, где требуется принятие решений в аналогичной по сложности среде: от безопасности до маркетинга, в котором можно симулировать торги за аудиторию.

Исторически люди были основными участниками многоагентных ситуаций, однако с развитием ИИ появилась возможность ввести алгоритмы в повседневную жизнь как равноправных участников и агентов, с которыми можно взаимодействовать. Прямо сейчас подобные компьютерные агенты решают множество задач: от простых и безобидных как автоматические телефонные системы, до критически важных как управление безопасностью и даже управление автономным транспортом [4]. Это позволяет существенно автоматизировать многие повседневные процессы, перенося принятие решений на алгоритмы и тем самым снижая нагрузку на человека.

Особенностью многих задач, где мы применяем компьютерных агентов, является большое количество ограничений реального мира, сказывающееся на сложности их программирования [5]. А самое важное для компьютерных агентов – доступ ко всей необходимой для принятия решений информации. Игры с асимметрией и неполнотой информации

требуют значительно более сложных подходов к принятию решений по сравнению с аналогичными по размерам играми с идеальной информацией, полностью доступной в любое время. Оптимальное решение в любой момент времени зависит от знания стратегии противников, зависящей от скрытой для нас и доступной только им информации, оценить которую можно только по их прошлым действия. Однако и их предыдущие действия тоже зависят от скрытой от них информации о наших действиях и того, как наши действия эту информацию раскрывали. Этот рекурсивный процесс показывает основную сложность в построении эффективных алгоритмов принятия решений.

Для проведения исследования в техасском холдеме был проведен ряд исследований для вычисления эффективности каждого алгоритма. Исследования проводились на следующих методах:

- Монте-Карло — общий игровой алгоритм, позволяющий найти лучший ход из любого игрового состояния любой игры [6].
- Q-learning - алгоритм обучения на основе политики с аппроксиматором функции в виде Q-таблицы [7].
- Deep Q-Learning —регрессионная модель, которая обычно выводит значения для каждого из наших возможных действий. Эти значения будут являться непрерывными плавающими Q-значениями [8].
- Asynchronous Advantage Actor Critic - асинхронная модель «субъект-критик»

В данной реализации будут разработаны 2 агента. Первый из них использует обычный Deep Q-Learning алгоритм, второй будет использовать Double Deep Q-Learning, их отличие заключает в том, что Double Deep Q-Learning будет использовать 2 слоя нейронной сети для обучения, что должно позволить производить более глубокое обучение сети.

В качестве платформы для проведения игр использовалась pyPockerEngine [9].

Все алгоритмы на основе нейронных сетей были разработаны с применением библиотеки TensorFlow [10].

Исследование

Для обучения было сыгранно 1000 игровых сессий по 100 раздач в каждой. Все агенты обучались параллельно, а также вместе с ними были применены 2 алгоритма без обучения со статичной стратегией. Первый всегда соглашается на повышение ставки, а второй основан на методике расчета аутов для выбора оптимальной тактики.

После обучения было проведено 100 игровых сессий со следующими условиями игры:

- Начальное число фишек: 1000;
- Малый/Большой блайнд: 1/2 фишка;
- За столом играют все алгоритмы + 2 игрока со статическим поведением;

Каждый агент имел равные стартовые условия для сравнения эффективности рассматривается средний остаток фишек у игроков после 100 проведенных сессий отображенный на рисунке 1.

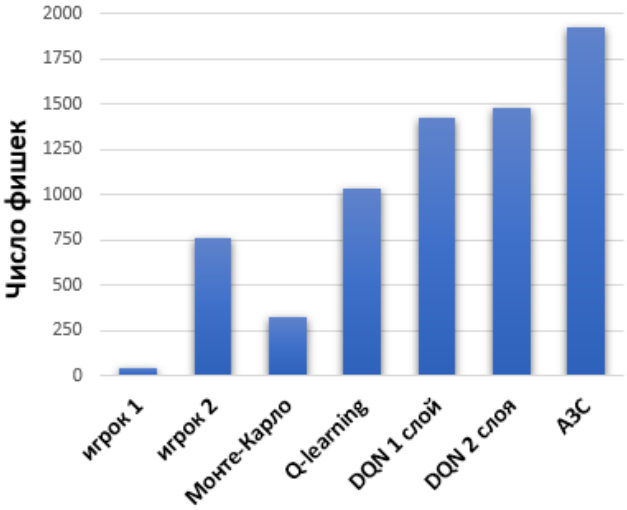


Рис. 1 – Результаты игры после обучения

Следующим этап исследования был проанализирован весь процесс обучения с шагом в 100 партий, чтобы понять на каком этапе различные методы были более эффективны, результаты можно увидеть на рисунке 2:

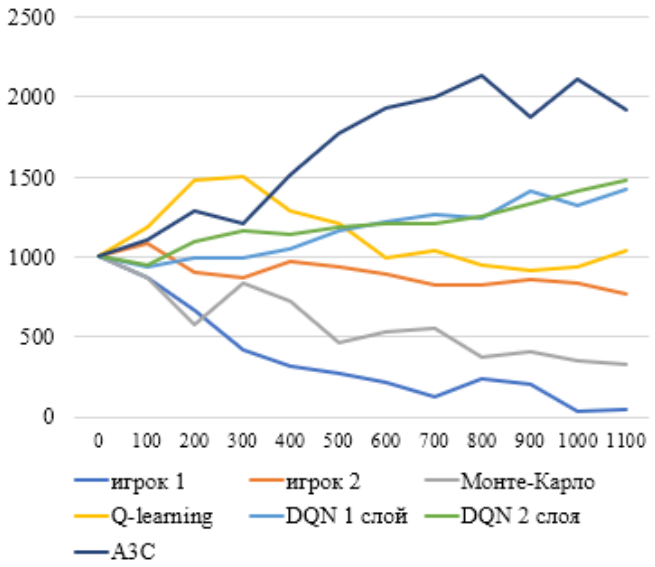


Рис. 2 – Эффективность алгоритмов на разных этапах обучения

Скорость обучения не менее важный фактор при обучении агентов. Не всегда есть возможность производить обучение на мощном компьютере, но часто необходимо быстро обучаться на конкретных задачах. В данном исследовании обучение производилось на следующей конфигурации железа:

- Intel i7-3630QM 2.40 ГГц;
- Nvidia Geforce GT 640m 2 Гб;
- ОЗУ 8 Гб.

Исследование проводилось при игре каждого отдельного алгоритма с двумя статичными для того, чтобы была возможность рассчитать время для каждого агента по отдельности.

Для исследования использовался следующий объем обучения:

- 1000 игровых сессий;
- 100 игровых партий в сессии.

Результаты исследования представлены на рисунке 3.

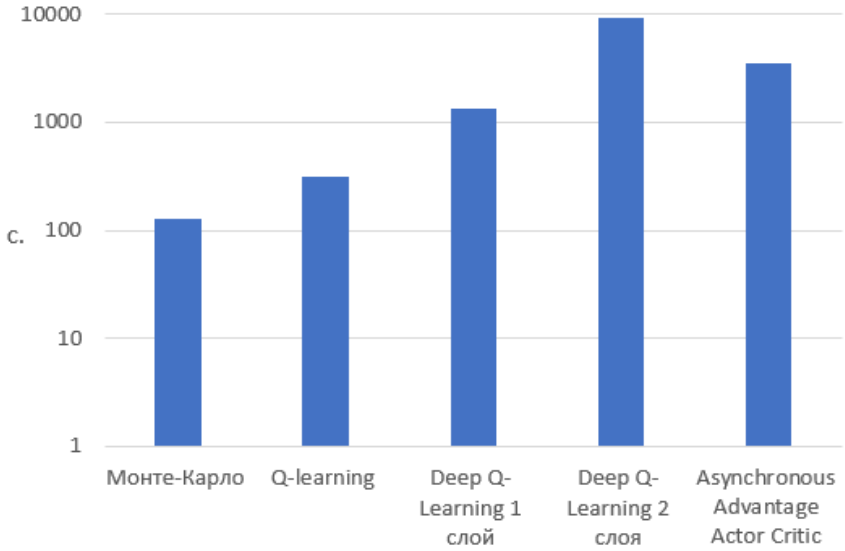


Рис. 3 – Сравнение скорости обучения алгоритмов

В ходе проведенных исследований алгоритм Asynchronous Advantage Actor Critic показал лучшую способность к обучению в данной задаче, т.к. смог сохранить больше всего фишек в ходе игры в техасский холдем, но в тоже время он был одним из самых сложных в разработке и на его обучение затрачивалось больше времени чем на большинство других. Алгоритмы Монте-Карло и Q-learning оказались самыми простыми и быстрыми в обучении, но в то же время показали одни из самых низких результатов. Так как оказались не способны эффективно приспосабливаться к динамически изменяющимся условиям игры.

Алгоритм Deep Q-learning показал один из лучших результатов, но оказался очень сложным в реализации. Использование второго слоя нейронной сети не смогло показать явных преимуществ в игре техасский холдем, но сильно замедлило скорость обучения. Несмотря на это при исследовании агентов в задаче торговых ботов применение второго слоя нейронной сети показало положительное влияние на результат.

В результате было выявлено, что все алгоритмы имеют свои преимущества и недостатки и могут быть применены к многоагентным системам для решения различных задач с неполной информацией.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Russell Stuart J. Artificial Intelligence / Stuart J. Russell, Peter Norvig // A Modern Approach (Third ed.). Prentice Hall. - 2010. - P.649

2. ИИ для покера: как научить алгоритмы блефовать [Электронный ресурс]. — URL: https://habr.com/ru/company/sberbank/blog/337264 (дата обращения 02.03.2018).

3. Shteingart H. The role of first impression in operant learning / Shteingart, Hanan; Neiman, Tal; Loewenstein, Yonatan. // Journal of Experimental Psychology: General. 142 (2): 476–488. 2013.

4. Hessel M. Rainbow: Combining Improvements in Deep Reinforcement Learning / M. Hessel, J. Modayil, H. van Hasselt et al. // ArXiv e-prints. – 2017.

5. Van Hasselt H. Deep Reinforcement Learning with Double Q-learning / H. van Hasselt, A. Guez, and D. Silver. // ArXiv e-prints. 2015.

6. Van Hasselt H. Learning values across many orders of magnitude / H. van Hasselt, A. Guez, M. Hessel et al. // ArXiv e-prints, 2016.

7. Wang Z. Dueling Network Architectures for Deep Reinforcement Learning / Z. Wang, T. Schaul, M. Hessel et al. // ArXiv e-prints 2015.

8. Silver D. Mastering the game of Go without human knowledge / D. Silver, J. Schrittwieser, K. Simonyan // USA, Nature – 2017 - P. 354–359

9. PyPokerEngine [Electronic resource]. – URL: ishikota.github.io/PyPokerEngine (accessed: 29.04.2020).

10. TensorFlow [Electronic resource]. – URL: https://www.tensorflow.org/ (accessed 02.03.2018).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Russell Stuart J. Artificial Intelligence / Stuart J. Russell, Peter Norvig // A Modern Approach (Third ed.). Prentice Hall. - 2010. - P.649

2. II dlja pokera: kak nauchit' algoritmy blefovat' [AI for poker: how to teach algorithms to bluff] [Electronic resource]. – URL: https://habr.com/ru/company/sberbank/blog/337264 (accessed: 02.03.2020).

3. Shteingart H. The role of first impression in operant learning / Shteingart, Hanan; Neiman, Tal; Loewenstein, Yonatan. // Journal of Experimental Psychology: General. 142 (2): 476–488. 2013.

4. Hessel M. Rainbow: Combining Improvements in Deep Reinforcement Learning / M. Hessel, J. Modayil, H. van Hasselt et al. // ArXiv e-prints. – 2017.

5. Van Hasselt H. Deep Reinforcement Learning with Double Q-learning / H. van Hasselt, A. Guez, and D. Silver. // ArXiv e-prints. 2015.

6. Van Hasselt H. Learning values across many orders of magnitude / H. van Hasselt, A. Guez, M. Hessel et al. // ArXiv e-prints, 2016.

7. Wang Z. Dueling Network Architectures for Deep Reinforcement Learning / Z. Wang, T. Schaul, M. Hessel et al. // ArXiv e-prints 2015.

8. Silver D. Mastering the game of Go without human knowledge / D. Silver, J. Schrittwieser, K. Simonyan // USA, Nature – 2017 - P. 354–359

9. PyPokerEngine [Electronic resource]. – URL: ishikota.github.io/PyPokerEngine (accessed: 29.04.2020).

10. TensorFlow [Electronic resource]. – URL: https://www.tensorflow.org/ (accessed 02.03.2018).

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.012

ТОЧНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ РАСТАЧИВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Научная статья

Лутьянов А.В.[1, *], Леонов А.В.[2], Снимщиков К.А.[3]
[1] ORCID 0000-0002-3334-7890;
[1, 2, 3] Российский технологический университет - МИРЭА, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (alou99[at]mail.ru)

Аннотация

В работе приведены технологические особенности конструкции корпусных деталей и технологии их производства. Выполнен комплекс работ по внедрению современных приспособлений и средств контроля в производство. С помощью статистического анализа обоснована эффективность проведенных мероприятий. Установлено, что использование приспособлений с аэростатическими опорами повышает точность и надежность технологической операции растачивания.

Ключевые слова: растачивание отверстий, корпусная деталь, точность.

ACCURACY OF THE TECHNOLOGICAL OPERATION OF HOLE BORING IN BASIC PARTS

Research article

Lutyanov A.V.[1, *], Leonov A.V.[2], Snimshchikov K.A.[3]
[1] ORCID 0000-0002-3334-7890;
[1, 2, 3] Russian Technological University (MIREA), Moscow, Russia

* Corresponding author (alou99[at]mail.ru)

Abstract

The paper presents the technological aspects of designing basic parts and the technology of their production. The study presents data on a completed complex of works on the introduction of modern devices and control instruments into production and justifies the effectiveness of the implemented measures with the help of statistical analysis. It is established that the use of devices with aerostatic bearing increases the accuracy and reliability of the technological boring operation.

Keywords: hole boring, basic part, precision.

Основными деталями шпиндельных бабок металлорежущих станков являются корпусные детали, в их конструкцию входят основные отверстия шпиндельной оси, от точности растачивания которых отверстий зависит работоспособность всего узла [1, С. 38]. В эти отверстия устанавливают подшипники качения, и к ним предъявляются высокие требования по точности их размеров и взаимного расположения. Например, соосность относительно общей оси при растачивании составляет 3…5 мкм для отверстий диаметром 180-320 мм [8, С. 102].

Применяемые на производстве способы растачивания деталей на горизонтально-расточных станках консольным инструментом часто не обеспечивали заданную соосность отверстий [9, С. 100]. В основном методы сводились к регулированию жесткости несущих систем оборудования, выбору оптимальной конструкции приспособлений и режущего инструмента. Они практически достигли заданного предельного уровня влияния на соосность расточенных отверстий [2, С. 41]. Углубленное изучение рассматриваемых способов позволяет утверждать, что это в большинстве случаев приводит к значительному удорожанию стоимости технологической операции и разрабатываемой технологической оснастки. По нашему мнению, наиболее перспективным путем повышения точности растачивания отверстий шпиндельной оси является обработка в приспособлениях с аэростатическими (газовыми) опорами [7, С. 118].

С целью исследования соосности применяли следующее средства технологического оснащения:

- горизонтально-расточной станок мод. 2620 ВФ-1;
- приспособление мод. 35-33 для контроля соосности [3, С. 21];
- резец с пластиной ВК8 (механическое крепление).

На основе разработанных ранее методик контроля отклонения от соосности расточенных отверстий относительно общей оси выполнен комплекс работ по организации заказа на проектирование и изготовление контрольных устройств для шпиндельной оси корпусных деталей. Деформации обоих участков определялись по обычным формулам для балок на упругом основании [5, С. 5].

Проведен эксперимент на трех внедренных приспособлениях с аэростатическими опорами. Определена зависимость между технологическими параметрами борштанг и точностью расточенных отверстий.

Перемещаемым узлом приспособлений с аэростатическими опорами являются борштанги диаметром $Ø140h5(_{-0,018})$ и $Ø190h5(_{-0,020})$ мм, имеющие массу 175, 191,6 и 425,3 кг при длине 1894, 2373 и 2850 мм соответственно. Возможно возникновение перекосов от действия сил тяжести, влияющих на соосность обработанных отверстий, в том числе на соосность растачиваемых отверстий. Обычно подвижные детали, или детали, по которым перемещаются подвижные узлы, имеют низкую собственную жесткость. Их рассматривают как балки на упругих опорах. Деформации этих деталей являются результатом совместных деформаций самих деталей и контактных деформаций опор. Особенность борштанг расточных приспособлений с аэростатическими опорами является то, что они представляют собой балки, опертые по двум участкам и нагруженные равномерной нагрузкой от собственного веса. С обеих сторон концы борштанг выступают с обеих сторон; система статически неопределима.

Методика выглядит следующим образом:

- проверка прямолинейности оси борштанги при отключенном воздухе;
- проверка прямолинейности оси борштанги при включенном воздухе;
- графический анализ приведенных результатов, сравнение с теоретическими расчетами [4, С. 69].

Однако, повышать точность углового позиционирования стола для уменьшения значения отклонения от соосности вряд ли целесообразно, поскольку удельный вес составляющей отклонения от соосности отверстий, вызываемой этой погрешностью станка, в балансе отклонений от соосности отверстий, обрабатываемых на фрезерно-сверлильно-расточных станках весьма мал. Контроль точностных параметров сопровождается построением гистограмм и графиков вероятностного характера для анализа полученных результатов [10, С. 6].

Гистограмма распределения формируется по фактическим размерам отверстий после контрольной операции и частости *n* их повторения. Случайная величина рассматривалась как модуль случайного трехмерного вектора, проекции которого на оси координат подчиняются нормальному распределению с равными между собой квадратическими отклонениями σ и математическими ожиданиями *M*, равными нулю [6, С. 225]. Тогда формула для имитации закона имеет вид:

$$\Theta_i = \sigma \cdot \sqrt{\xi_1^2 + \xi_2^2 + \xi_3^2} \ ,$$

где θ_i – случайные числа, имеющие нормальное распределение с математическими ожиданиями, равными нулю, и средними квадратическими отклонениями, равными единице.

Отклонения свидетельствует о смещении центра настройки режущего инструмента во времени, связанное с влиянием систематических факторов.

Вычисление состояло их двух этапов (ввода в машину данных об изменении текущего радиуса детали и режима вычисления параметров профиля детали). Число дискретных отсчетов $N = 180$ определялось согласно программе самой машины, после ввода 180 значений машина автоматически переходила в режим вычисления параметров с одновременным периодическим выводом результатов на печатающее устройство (см. рисунок 1). Полное время анализа составило 40 секунд, из них 20 секунд - на ввод измерительной информации и 20 секунд занимала обработка информации и вывод результатов на печатное устройство.

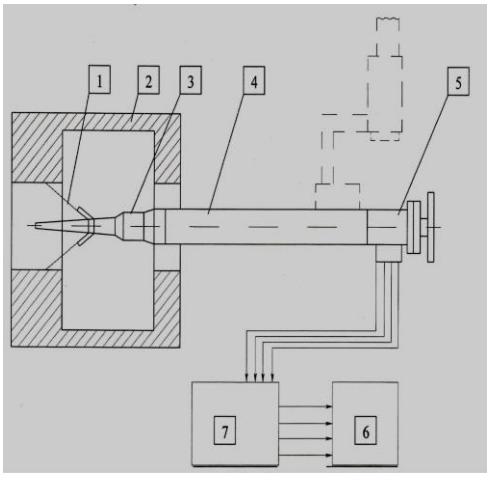


Рис. 1 – Блок-схема устройства контроля отклонения от соосности отверстий относительно общей оси:
1 – первичный преобразователь; *2* – корпусная деталь; *3* – измерительная головка; *4* – оправка;
5 – механизм поворота; *6* – регистрирующий прибор; *7* – блок усиления

На основе анализа проведения статистических расчетов установлено, что работы на основе постоянства полученных значений не дают наглядности и экономической эффективности, что привело нас к рассмотрению вопроса об использовании гипотезы аддитивной структуры погрешностей обработки. Гипотеза применена для анализа кривых распределения соосности корпусных деталей. Исследованы варианты растачивания отверстий разными способами на горизонтально-расточных станках (см. рисунок 2).

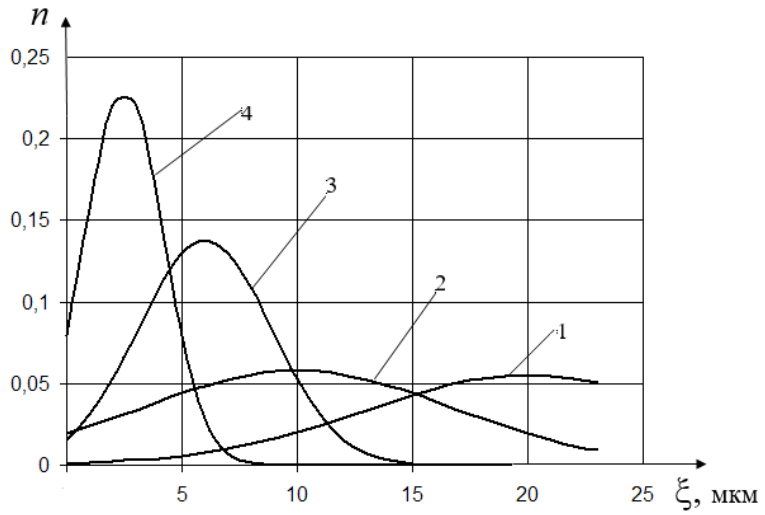


Рис. 2 – Статистический анализ отклонения от соосности ξ, мкм отверстий диаметром Ø180H6$\left(^{+0,029}\right)$ мм и диаметром Ø180H6$\left(^{+0,029}\right)$ мм при частости *n:*

1 – растачивание борштангой в угольниках; *2* – растачивание консольной оправкой с поворотом на 180º; *3* – обработка на алмазно-расточном станке; *4* – обработка в приспособлении с аэростатическими опорами

Информация обрабатывалась отдельно для каждой пары диаметрально расположенных профилограмм образующих. Точность обработки по вариантам представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Точность отверстий диаметром Ø 180 мм шпиндельной оси, мкм

Погрешности формы и расположения, мкм	Допуск	Варианты обработки			
		Обработка борштангой в угольниках	Обработка консольной оправкой с поворотом	Растачивание на алмазно-расточном станке	Обработка в приспособлении с аэростатическими опорами
Отклонение от круглости	6	15	6	5	4
Отклонение от соосности относительно общей оси	4,5	40	10	6	2,5

Анализ отклонений от соосности относительно общей оси показал смещение центра группирования отклонения с 40 до 2,5 мкм. Анализ кривых распределения соосности отверстий корпусной детали 1Н65, расточенных в приспособлениях с аэростатическими опорами на основе гипотезы аддитивной структуры показал, что используемый способ растачивания повышает точность изготовления деталей на 1-2 квалитета.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Лутьянов А. В. Показатели качества приспособлений с аэростатическими опорами для обработки корпусных деталей / Лутьянов А. В. // Технические науки от теории к практике: материалы XII международной науч.-практ. конф. 23 сентября 2016 г., Санкт-Петербург. – С.-П. : Научный журнал «Globus», 2016. – С. 38-41.

2. Лутьянов А. В. Математическая модель образования погрешностей при растачивании корпусных деталей в приспособлениях / Лутьянов А. В. // Актуальные вопросы науки и техники: материалы международной науч.-практ. конф. 11 апреля 2016 г., г. Самара, 2016. – С. 41-43.

3. Лутьянов А. В. Устройства для контроля соосности отверстий и перпендикулярности опорных торцов / А.В. Лутьянов, Ю. Ф. Назаров // МГОУ-XXI-Новые технологии. – 2003. – № 1. – С. – 21 – 23.

4. Лутьянов А. В. Определение величины косости и крутости кривой распределения отклонений от соосности при растачивании отверстий корпусной детали / А.В. Лутьянов, Ю.Ф. Назаров // МГОУ-XXI-Новые технологии. – 2002. – № 4. – С. – 69 – 71.

5. Левина З. М. Расчет упругих деформаций под действием веса перемещающихся узлов / З. М. Левина // Станки и инструмент. – 1968. –№ 1. – С. – 1 – 5.

6. Андреев Г. Н. Проектирование технологической оснастки машиностроительного производства: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / Г. Н. Андреев. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2001. – 426 с.

7. Пинегин С. В. Статические и динамические характеристики газостатических опор / С. В. Пинегин, Ю. Б. Табачников, И. Е. Сипенков. – М.: Наука, 1982. – 265 с.

8. Воронцов А. Л. Теоретические основы обработки металлов в машиностроении: монография / А. Л. Воронцов, А. Ю. Албагачиев, Н. М. Султан-заде. – Старый Оскол: ТНТ, 2013. – 552 с.

9. Бурцев В.М. Технология машиностроения. В 2 т. Т.2. Производство машин: Учеб. для вузов под ред. Г.Н. Мельникова / В. М. Бурцев, А. С. Васильев, О. М. Деев – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 640 с., ил.

10. Полтавец О. В. Производственные исследования отклонений от соосности отверстий высокоточных корпусных деталей / О. В. Полтавец, В. В. Гудков, В. В. Зимин // Технология производства, научная организация труда и управления. – 1980. – № 6. – С. – 6 – 8.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Lutyanov A. V. Pokazateli kachestva prisposoblenijj s aehrostaticheskimi oporami dlja obrabotki korpusnykh detalejj [Quality Indicators of Devices With Aerostatic Supports for Processing Body Parts] / Lutyanov A. V. // Tekhnicheskie nauki ot teorii k praktike: materialy XII mezhdunarodnojj nauch.-prakt. konf. 23 sentjabrja 2016 g. [Technical sciences from theory to practice: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference on September 23, 2016], St. Petersburg.: Scientific Journal "Globus", 2016, pp. 38-41 [in Russian]

2. Lutyanov A. V. Matematicheskaja model' obrazovanija pogreshnostejj pri rastachivanii korpusnykh detalejj v prisposoblenijakh [Mathematical Model of the Formation of Errors When Boring Body Parts in Devices] / Lutyanov A. V. // Aktual'nye voprosy nauki i tekhniki: materialy mezhdunarodnojj nauch.-prakt. konf. 11 aprelja 2016 g., g. Samara [Topical Issues of Science and Technology: Materials of the International Scientific and Practical Conference on April 11, 2016], Samara, 2016, pp. 41-43 [in Russian]

3. Lutyanov A. V. Ustrojjstva dlja kontrolja soosnosti otverstijj i perpendikuljarnosti opornykh torcov [Devices for Monitoring the Alignment of Holes and the Perpendicularity of the Support Ends] / A.V. Lutyanov, Yu. F. Nazarov // MGOU-XXI-Novye tekhnologii. – 2003. – № 1. ─ P. ─ 21 – 23 [in Russian]

4. Lutyanov A. V.Opredelenie velichiny kososti i krutosti krivojj raspredelenija otklonenijj ot soosnosti pri rastachivanii otverstijj korpusnojj detali [Determination of the Magnitude of the Obliquity and Steepness of the Distribution Curve of Deviations From the Alignment When Boring Holes of the Body Part] / A.V. Lutyanov, Yu. F. Nazarov // MGOU-XXI-Novye tekhnologii. – 2002. – № 4, pp. 69 – 71 [in Russian]

5. Levina Z. M. Raschet uprugikh deformacijj pod dejjstviem vesa peremeshhajushhikhsja uzlov [Calculation of Elastic Deformations Under the Action of the Weight of Moving Nodes] / Z. M. Levina // Stanki i instrument [Machines and Tools]. – 1968. - No. 1, pp. 1-5. [in Russian]

6. Andreev G. N. Proektirovanie tekhnologicheskojj osnastki mashinostroitel'nogo proizvodstva: Ucheb. posobie dlja mashinostroit. spec. vuzov [Design of Technological Equipment of Machine-Building Production: A Manual] / G. N. Andreev- 3rd edition. - M.: Higher School of Economics, 2001. - 426 p. [in Russian]

7. Pinegin S. V. Staticheskie i dinamicheskie kharakteristiki gazostaticheskikh opor [Static and Dynamic Characteristics of Gas-Static Supports] / S. V. Pinegin, Yu. B. Tabachnikv, I. E. Sipenkov. - Moscow: Nauka, 1982. - 265 p. [in Russian]

8. Vorontsov A. L. Teoreticheskie osnovy obrabotki metallov v mashinostroenii: monografija [Theoretical Foundations of Metal Processing in Mechanical Engineering: A Monograph] / A. L. Vorontsov, A. Yu. Albagachiev, N. M. Sultan-zade. - Stary Oskol: TNT, 2013. - 552 p. [in Russian]

9. Burtsev V. M. Tekhnologiya mashinostroyeniya. Proizvodstvo mashin [Technology of Mechanical Engineering. In 2 Vols. Vol. 2. Production of Machines: A Textbook for Universities], edited by G. N. Melnikov. M. Burtsev, A. S. Vasiliev, O. M. Deev , M.: Publishing House of the Moscow State Technical University. Bauman, 2001. - 640 p., ill. [in Russian]

10. Poltavets O. V. Proizvodstvennye issledovanija otklonenijj ot soosnosti otverstijj vysokotochnykh korpusnykh detalejj [Production Studies of Deviations From the Alignment of Holes of High-Precision Housing Parts] / O. V. Poltavets, V. V. Gudkov, V. V. Zimin // Tekhnologija proizvodstva, nauchnaja organizacija truda i upravlenija [Production Technology, Scientific Organization of Labor and Management]. - 1980. - No. 6, pp. 6-8. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.013

РОЛЬ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В РАЗВИТИИ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Научная статья

Музаев А.К.*

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственного технологического университета), Владикавказ, Россия

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

Аннотация

Горные территории отличаются, с одной стороны, наличием большого количества возобновляемых источников энергии (солнечные лучи, ветер, горные реки) и, с другой стороны, острой необходимостью их использования, особенно в горных поселениях, где отсутствует централизованное энергообеспечение. Использование ВИЭ в таких поселениях избавит от необходимости ввоза и применения дорогостоящего и экологически вредного традиционного топлива, создаёт условия для развития индивидуальных фермерских хозяйств и т.п. Описаны принципы практической реализации генераторных энергоустановок, использующих ВИЭ различного типа, их особенности и перспективы применения. Показана определяющая роль использования ВИЭ для устойчивого развития горных территорий.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, горные территории, солнечные батареи, ветроустановки, микрогидрогенераторы, индивидуальные объекты, энергообеспечение, экология.

ON THE ROLE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE DEVELOPMENT OF MOUNTAIN AREAS

Research article

Muzaev A.K.*

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia

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

Abstract

On the one hand, mountain territories are notable for the presence of a large number of renewable energy sources (solar rays, wind, mountain rivers), on the other hand, they are distinguished by an urgent interest for their use, especially in mountain settlements where there is no centralized energy supply. The use of renewable energy in such settlements will eliminate the need to import and use expensive and environmentally harmful traditional fuels, create conditions for the development of individual farms, etc. The article describes the principles of practical implementation of generator power plants using RES of various types, their characteristics, and prospects of application. Also, the study demonstrates the determining role of using RES for the sustainable development of mountain areas.

Keywords: renewable energy sources, mountain areas, solar panels, wind turbines, microhydrogenerators, individual facilities, energy supply, ecology.

Роль использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для развития цивилизации в целом неоспорима [1], [2], [3]. Для устойчивого развития горных территорий применение ВИЭ имеет особо важное значение [4], [5].

Применение ВИЭ в горных условиях реализуется по двум основным направлениям:

1. Автономное энергоснабжение индивидуальных объектов бытового типа (жилых домов, ферм, коттеджей, энергопотребителей турбаз и т.д.)

2. Автономное питание неподключенных к электрическим сетям малоэнергоёмких промышленных потребителей, к которым можно отнести:

- пункты дистанционного (удалённого) мониторинга различных параметров окружающей среды (загрязнения воздуха, воды и т.д.), автономные метеостанции, станции контроля уровня воды и т.д.
- коммуникационные системы (ретрансляторы, мобильные радиосистемы, телефонные сети, автономные системы контроля и управления и т.д.)
- сигнальные устройства (дорожные знаки, освещение разделительных барьеров на горных дорогах; огни безопасности на ЛЭП и т.д.)
- водонасосные установки (для подъёма питьевой воды, для ирригационных целей в сельском хозяйстве и т.п.)

Кроме перечисленных объектов энергию возобновляемых источников можно будет использовать в будущем на промежуточных электрозарядных станциях для подзарядки аккумуляторных батарей электромобилей, для использования в геоинформационных системах и т.д.

Использование для энергоснабжения перечисленных объектов как первого, так и второго направлений традиционного топлива приведёт не только к повышению материальных затрат, но и к эксплуатационным трудностям и ухудшению экологической обстановки горных местностей.

Можно выделить следующие, характерные для горных условий возобновляемые источники энергии (ВИЭ): солнце, горные реки, ветер. Для некоторых районов возможно также использование геотермальных вод. Основным преимуществом ВИЭ по сравнению с другими источниками энергии является сам факт их неисчерпаемости. Запасы ископаемых топлив, в частности, в горных районах ограничены, а, значит, с течением времени их стоимость будет возрастать. Запасы возобновляемой энергии в горных условиях более чем достаточны для удовлетворения энергетических потребностей региона [6].

Наиболее просто в большинстве случаев можно реализовать использование солнечной энергии, в частности, для получения тепла и последующего горячего водоснабжения. Солнечные водонагревательные установки (солнечные коллекторы) особенно широко распространены в странах с жарким климатом (например, в Израиле законодательно закреплено требование, чтобы каждый дом был оснащён солнечной водонагревательной установкой).

Однако, проведённые широкие исследования поступления солнечной энергии на территорию России показали, что почти для всех регионов страны, особенно для Ростовской области, Краснодарского края, Республики Дагестан и т.д. применение солнечных водонагревательных установок оправдано.

Учитывая простоту конструкции солнечных коллекторов, их высокую экологичность, можно предположить, что в ближайшее время они найдут широкое применение и на Северном Кавказе, тем более что там достаточно солнца даже в зимнее время. Достаточный практический интерес представляет также использование солнечных коллекторов в сочетании с тепловыми насосами.

Для преобразования солнечной энергии в электрическую можно использовать как термодинамические методы, так и непосредственное преобразование с помощью солнечных батарей. Термодинамические методы предполагают использование концентраторов солнечной радиации, сложных устройств слежения за солнцем и обычно реализуются в виде достаточно мощных электрических станций в странах так называемого солнечного пояса (Египет, Мексика и т.п.).

Фотоэлектрические преобразователи (солнечные батареи) используют как прямое, так и рассеянное солнечное излучение и, хотя и снабжаются иногда дополнительными отражателями, направляющими лучи солнца на плоскость солнечной панели, но не имеют дорогостоящих концентраторов и специальных устройств слежения за положением солнца; могут быть реализованы в довольно малом диапазоне мощностей.

Солнечные батареи могут непосредственно встраиваться в конструкцию объекта, потребляющего генерируемую ими энергию (крыши так называемых солнечных домов). Многие страны на государственном уровне поддерживают использование ВИЭ, в частности, применение солнечных панелей (национальные программы «100 тыс. солнечных крыш» в Германии, «100 тыс. солнечных крыш» в Японии, «1 млн солнечных крыш» в США).

Применение установок, использующих преобразование энергии ВИЭ в электрическую сравнительно небольшой мощности (единицы кВт и более), представляет сегодня практические единственную возможность приобщить население труднодоступных высокогорных районов, не подключённых к централизованной электрической сети, к современной цивилизации.

Для электроснабжения малоэнергоёмких потребителей в условиях горных территорий могут с успехом использоваться горные реки. Россия имеет очень большой энергетический потенциал малых рек. Общее число малых рек в стране превышает 2,5 млн, их суммарный сток превышает 1 000 км^3 в год. Оценивая суммарные энергетические возможности малых рек, можно сказать, что, используя современные доступные средства, на малых ГЭС России (мощностью приблизительно от 100 кВт до 10 МВт) можно производить около 500 млрд кВт·ч электроэнергии в год.

Энергетические ресурсы основных рек РСО – Алания можно охарактеризовать данными, представленными в табл. 1 [6].

Таблица 1 – Распределение основных рек по размерам потенциальной мощности РСО – Алания

Интервалы мощностей, тыс. кВт	Число рек	Суммарная длина, км	Суммарная мощность, тыс. кВт	% от итога	Удельная мощность, кВт/км
до 1,7	37	362,7	21,6	0,9	59
1,7 – 5	15	322,0	70,8	3,0	219
5 – 10	13	193,1	130,0	5,5	673
10 – 50	14	362,1	432,5	18,1	1 194
более 50	5	513,6	1 729,9	72,5	3 368
ИТОГО:	84	1 953,5	2 384,8	100	5 513

Наиболее приемлемым способом использования энергии горных рек является строительство рукавных микроГЭС. Конструктивно рукавная микроГЭС состоит из энергоблока, блока управления, блока возбуждения, блока нагрузки и рукавного водовода. Применение рукавного водовода позволяет расположить микроГЭС в наиболее удобном для потребителя месте.

Конструктивно энергоблок обычно выполняется в виде металлической рамы, на которой располагаются направляющий аппарат, двухкратная турбина и электрический генератор. На этой же раме смонтированы блок управления, блок возбуждения и балластных нагрузок. Водовод состоит из водозаборного устройства, устроенного в верхней части реки, переходного устройства и напорных рукавов (или труб), подающих воду в энергоблок. После энергоблока вода возвращается в своё обычное русло.

Основные технические характеристики некоторых выпускаемых в России рукавных микроГЭС приведены в табл. 2 [7].

Таблица 2 – Основные технические характеристики рукавных микроГЭС

Параметры	Наименование			
	Луч-1	Луч-2	Луч-4	Луч-10
Мощность, кВт	1,0	2,0	4,0	10,0
Род тока	Однофазный	Однофазный	Трёхфазный	Трёхфазный
Напряжение, В	220	220	380	380
Частота, Гц	50	50	50	50
Масса энергоблока, кг	60	92	110	180
Габаритные размеры, мм	700x385x485	850x500x490	970x610x540	1 155x850x750
Расход воды, л/с	40	50	85	145
Рабочий напор, м	5	6,5	8,5	10,0
Диаметр водовода, мм	150	180	210	270
Цена, тыс. рубл	50,4	90,7	172,9	390,0

В соответствии с требованиями потребителя можно выбрать и внедрить соответствующую рукавную микроГЭС. В горных условиях при наличии большого количества малых рек применение рукавных микроГЭС может решить проблему энергоснабжения горных поселений, дачных посёлков, фермерских хозяйств, небольших (малоэнергоёмких) производств различного назначения, находящихся в отдалённых горных и труднодоступных районах, где нет поблизости линий электропередач.

Помимо использования солнечной энергии и энергии малых рек в горных условиях имеются широкие возможности для использования ветровой энергетики. Ветрогенераторы можно разделить на две категории: промышленные и для частного пользования. Современная ветроэнергетика интенсивно развивается в обоих направлениях.

Мощные ветроэнергетические установки обычно реализуются в виде ветровых ферм и работают совместно с сетью. Причём при благоприятных характеристиках ветра стоимость электроэнергии, вырабатываемой крупной ветровой фермой приближается к её стоимости на топливных электростанциях.

Отечественные разработки в области мощных сетевых ветроустановок отстают от зарубежных. В отличие т производства крупных ветроустановок в России имеется довольно развитая производственная база по выпуску автономных ветроустановок малой мощности: от 0,04 до 16 кВт (в том числе ветродизельных агрегатов), что очень важно для обеспечения автономного энергоснабжения потребителей, не подключённых к централизованным сетям.

Однако, энергообеспечение исключительно ветрогенераторами индивидуальных объектов, например, жилого дома, конструктивно представляет собой довольно сложную задачу (ветровое колесо соответствующей мощности должно иметь в диаметре около 20 м). Решением проблемы является совместное использование генераторов возобновляемой энергии различного типа (например, ветрогенератор и солнечные батареи) или дополнительные системы энергообеспечения дополнительными генераторами (например, дизель-генератором), работающими на традиционном топливе.

Разработки гибридных установок, использующих энергию ВИЭ различного типа, является перспективным направлением развития возобновляемой энергетики, особенно для горных условий, где, как правило, есть возможность использования энергии ветра, солнца и горных рек.

Заканчивая краткий обзор энергетических возможностей использования ВИЭ горных территорий, в частности, РСО – Алания, можно констатировать следующее:

- Горные территории, как правило, обладают достаточным энергетическим потенциалом ВИЭ: солнце, горные реки, ветер.
- Разнообразные и доступные источники возобновляемой энергии горных и предгорных территорий РСО – Алания в настоящее время практически не используются за исключением небольшого числа относительно крупных гидроэлектростанций (Гизельдон ГЭС, Эзмин ГЭС, ДзауГЭС);
- Автономные энергетические установки на ВИЭ малой мощности (до десятков кВт) внедряются на объектах республики в единичных экземплярах;
- Для энергообеспечения не подключённых к централизованным электрическим сетям объектов (в частности, поселений), расположенных в труднодоступных горных районах, использование ВИЭ является практически единственным эффективным, экономически выгодным, экологически чистым способом, обладающим существенными преимуществами по сравнению с применением привозного традиционного топлива;
- Применение ВИЭ имеет также важное социальное значение, т.к. с развитием возобновляемой энергетики в горных регионах возрастает занятость населения, возникает необходимость в выпуске новых специалистов, повышении уровня грамотности населения и т.д. Внедрение ВИЭ должно поддерживаться (как это делается в большинстве развитых стран мира) на общегосударственном уровне как в отношении финансирования, так и в отношении разработки соответствующей законодательной базы, направленной на поддержку внедрения ВИЭ, в частности, в горных провинциях.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Энергоснабжение: учеб, пособие / Е.А. Блинов, С.И. Джаншиев, Г.З. Зайцев и др. - СПб.: СЗТУ, 2006.
2. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб.-метод, комплекс / сост. В.Г. Лабейш - СПб.: СЗТУ, 2007.
3. Попель О.С. Возобновляемые источники энергии в регионах Российской Федерации: проблемы и перспективы / О.С. Попель // Энергосовет. -2011. - №5.
4. Попель О.С. Перспективы развития возобновляемых источников энергии для локального энергоснабжения / О.С. Попель // Атомная энергия. -2011. - №5.
5. Безруких П.П. Возобновляемая энергетика: вчера, сегодня, завтра: статья / П. П. Безруких // Электрические станции: Ежемесячный произв.-техн. журнал. - М.: Энергопрогресс, 2005. - N2. - С.35-47.
6. Научные труды вольного экономического общества россии том сто пятьдесят третий Устойчивое развитие горных территорий (На примере РСО-А) И.К. Хузмиев Энергетические ресурсы РСО-Алания, с. 80.
7. Германович В. Альтернативные источники энергии и энергосбережение / В. Германович, А. Турилин. М: Наука и Техника, 2014 г., С. 320

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ehnergosnabzhenie: ucheb, posobie [Energy Supply: A Textbook] / E. A. Blinov, S. I. Dzhanshiev, G. Z. Zaitsev et al. - St. Petersburg: NWTU, 2006. [in Russian]
2. Netradicionnye i vozobnovljaemye istochniki ehnergii: ucheb.-metod, kompleks [Unconventional and Renewable Energy Sources: Studies: A Manual] / Compiled by V. G. Labeish-St. Petersburg: NWTU, 2007 [in Russian]

3. Popel O. S. Vozobnovljaemye istochniki ehnergii v regionakh Rossijjskojj Federacii: problemy i perspektivy [Renewable Energy Sources in the Regions of the Russian Federation: Problems and Prospects] / O. S. Popel // Energosovet. -2011. - №5 [in Russian]

4. Popel O. S. Perspektivy razvitija vozobnovljaemykh istochnikov ehnergii dlja lokal'nogo ehnergosnabzhenija [Prospects for the Development of Renewable Energy Sources for Local Energy Supply] / O. S. Popel // Atomnaya energiya [Atomic Energy]. -2011. - №5 [in Russian]

5. Bezrukikh P. P. Vozobnovljaemaja ehnergetika: vchera, segodnja, zavtra: stat'ja [Renewable Energy: Yesterday, Today, Tomorrow: Article] / P. P. Bezrukikh // Ehlektricheskie stancii: Ezhemesjachnyjj proizv.-tekhn. zhurnal [Electric Stations]. - M.: Energoprogress, 2005. - N2, pp. 35-47 [in Russian]

6. Ehnergeticheskie resursy RSO-Alanija [Energy Resources of North Ossetia–Alania Republic] / I. K. Khuzmiev // Nauchnye trudy vol"nogo ehkonomicheskogo obshhestva rossii tom sto pjat"desjat tretijj [Scientific Works of the Free Economic Society of Russia Volume One Hundred and Fifty-Three. Sustainable Development of Mountain Territories (Based on the North Ossetia–Alania Republic)], p. 80 [in Russian]

7. Germanovich V. Al'ternativnye istochniki ehnergii i ehnergosberezhenie [Alternative Energy Sources and Energy Conservation] / V. Germanovich, A. Turilin. M: Science and Technology 2014, p. 320 [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.014

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ УЛОВА НА РЫБОПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Научная статья

Проценко И.Г.*
Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский, Россия

* Корреспондирующий автор (ip1954[at]list.ru)

Аннотация

В статье предлагается использование имитационной модели в задаче оптимизации доставки уловов с рыболовных участков и последующей обработки на рыбообрабатывающем заводе. Приведено описание процесса обработки уловов на примере предприятия с несколькими рыболовными участками. Предполагается, что модель возможно использовать для оптимизации работы рыбопромышленного предприятия. Проведенные численные эксперименты, подтверждают целесообразность развития предложенного подхода. Модель потребует доработки исходя из промысловой ситуации и производственной платформы, поэтому для расчетов в реальном масштабе времени планируется выбрать за основу базовое предприятие, имеющее завод и несколько рыболовных участков в Камчатско-Курильской подзоне в период июль-сентябрь 2021 года.

Ключевые слова: рыболовные участки, добыча и обработка рыбы, имитационная модель, численные эксперименты.

A SIMULATION MODEL OF CATCH PROCESSING OPTIMIZATION AT A FISHING ENTERPRISE

Research article

Protsenko I.G.*
Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

* Corresponding author (ip1954[at]list.ru)

Abstract

The article proposes using a simulation model when optimizing the delivery of fish caught from fishing areas and its subsequent processing at a fish processing facility. The study describes the processing of the fish based on the operation of an enterprise with several fishing areas. It is assumed that the model can be used in optimizing the operation of a fishing enterprise. The numerical experiments conducted in this research confirm the feasibility of developing the proposed approach. The model will require further development based on the fishing situation and the production platform, therefore, for real-time calculations, it is planned to choose a basic enterprise that has a plant and several fishing sites in the Kamchatka-Kuril subarea in the period from July to September of 2021.

Keywords: fishing areas, fish production and processing, simulation model, numerical experiments.

Введение в предметную область

На Камчатке в прибрежном морском промысле тихоокеанских лососей в основном используются ставные невода, которые устанавливаются на рыболовных участках [1], [2]. Рыболовный участок представляет собой водный объект или его часть и выделяется для осуществления рыболовства в целях хозяйственной деятельности, организации любительского рыболовства и др. Как правило морской рыболовный участок включает в себя акваторию и часть берега моря (между участками расстояние около 2-х км) на котором обычно устанавливается невод или другие орудия лова [3], [4].

Ставной невод – это стационарное рыболовное орудие, принцип действия которого основан на установке на пути рыбы неподвижного препятствия «крыла», которое направляет её в ловушку. Рыба, пойманная ставным неводом, остаётся неповреждённой и долгое время сохраняется живой внутри ловушки. Садки ставных неводов предназначены для концентрации рыбы. Размеры ловушек и садков зависят, главным образом, от глубины места установки и объекта лова. При интенсивном ходе рыбы и частых переборках невода, чтобы разрешить вопрос о выливке улова и транспортировке рыбы, невода снабжают садками в виде сетных ящиков. При переборке рыбу перегоняют в садок и оставляют в нем до подхода транспортного судна.

Постановка ставного невода обычно производится перед началом путины. Любое дополнительное время нахождения ставного невода в развернутом состоянии сопряжено с опасностью разрушения конструкции невода под воздействием сильного волнения (шторма). Поэтому это операцию необходимо начать и быстро закончить перед самым началом промысла. После установки невода рыбаки следят за ходом рыбы.

Промысел. Рыба, упираясь в сетное полотно крыла, следует далее по нему, заходит в ловушку и находится там, так как не может сразу найти выход. Но долгое нахождение рыбы в ловушке нежелательно, и поэтому при первой возможности (за этим следит ответственный бригадир рыбаков) рыбу из ловушки переливают (переборкой сетного полотна) в садки, откуда рыба выйти уже не может и находится там до выливки улова в прорезь.

Выливка и транспортировка улова. Когда в садках накапливается достаточно рыбы, из садков рыба переливается в *прорезь* – плавсредство, в котором предусмотрены емкости для рыбы, заполненные водой. Прорезь используется только для транспортировки рыбы, так как места для рыбы там совершенно нет, в отличие от садка. Чтобы перелить рыбу из садка в прорезь, рыбаки береговой команды перебирают сетное полотно садков, перегружают рыбу из садка в прорезь.

После заполнения прорези дается команда судну (МРС, катер), которые подходят, цепляют прорезь и тянут её либо к судну-переработчику улова, либо на берег, где перегружают рыбу из прорези (сначала на автомобиль, потом) на рыбообрабатывающий завод.

Попав на предприятие, рыба отправляется в цех переработки. На первом этапе рыба претерпевает разделку по стандарту или по желанию заказчика. После разделки идет этап сортировки по виду рыбы, по размеру, осуществляется взвешивание поступающего сырца. После этапа сортировки рыба подлежит переработке. Примером переработки может быть: шоковая заморозка или копчение. После этапа переработки, готовую продукции еще раз взвешивают и отправляют на упаковку. Затем продукция отправляется на склад для хранения.

По готовой продукции составляется отчет об объеме расходованного сырца, количестве произведенной продукции и вырабатываются рекомендации для дальнейшего производства. Данные об уловах, доставке рыбы и производстве рыбной продукции в виде промысловой отчетности [5]. направляются в информационную систему «Рыболовство» (отраслевую систему мониторинга – ОСМ [6]).

Постановка задачи

Объемам добычи рыбы на рыболовных участках присуща волатильность, связанная с ходом рыбы и метеоусловиями. На завод, в свою очередь, поступает рыба с нескольких рыболовных участков. Диспетчеризация процесса доставки рыбы с участков на завод не может обеспечить планомерную загрузку обрабатывающих мощностей завода. В любом случае рыба передерживается в садках ставных неводов или, что еще хуже, ожидает обработки находясь в прорези, которую к заводу подвезли. Задержка обработки рыбы существенно влияет на качество продукции, часто приводит к невозможности её выпуска вообще. Да и простаивающие производственные мощности для предприятия весьма накладны. Таким образом стоит задача оптимизации и оперативного изменения графика доставки рыбы с наименьшими экономическими потерями.

В отличие от исследований алгоритмов автоматизации отчетности [6] задачам оптимизации и оперативного управления промыслом на рыболовных участках уделено не так много внимания [7], [8]. Однако эту задачу можно решить, построив математическую модель, которая будет описывать процесс выливки улова и доставки его на завод по заданному графику, оценивать показатели эффективности работы предприятия. Меняя параметры модели можно исследовать разные режимы организации обработки уловов и выбрать наилучший вариант для практического применения.

Программная среда

Модель организации обработки уловов разработана в MATLAB/Simulink 2017. MATLAB/Simulink – является инструментальной средой моделирования сложных динамических систем, а также основным инструментом для модельно-ориентированного проектирования [9], [10].

На рис.1. приведена схема работы предприятия, реализованная на базе имитационной модели в программной среде MATHLAB/Simulink.

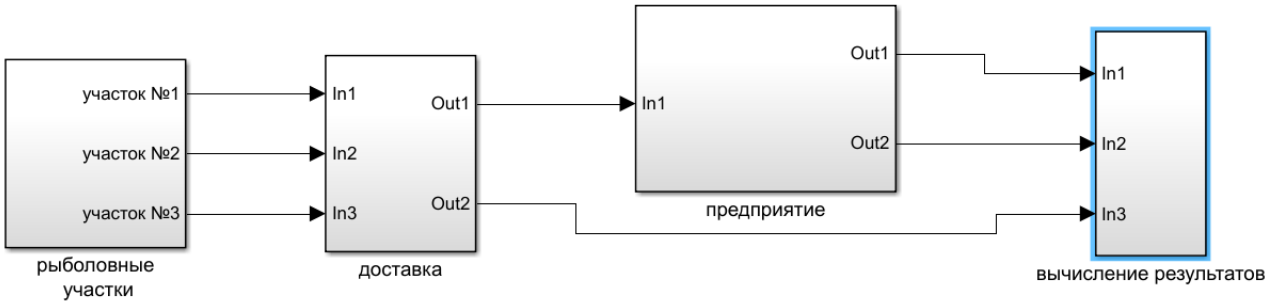


Рис. 1 – Схема движения улова

Все производство разбито на блоки. Первым блоком стоит добыча, где имитируется изъятие рыбы из ловушек и ее отправка на обработку. Второй блок показывает суда, транспортирующие сырую рыбу на завод. Задача данного блока состоит в вычислении количества пройденных миль судном для определения расхода топлива, данный параметр суммарно войдет в общую величину затрат. Третий блок содержит этап переработки сырой рыбы в готовую рыбную продукцию, в нем производится расчет остальных материальных затрат.

На рис.2 представлен блок «добыча», где на графиках показан объем рыбы, находящейся в ловушках. По степени заполняемости ловушек определяется, когда ее нужно изымать и отправлять на завод.

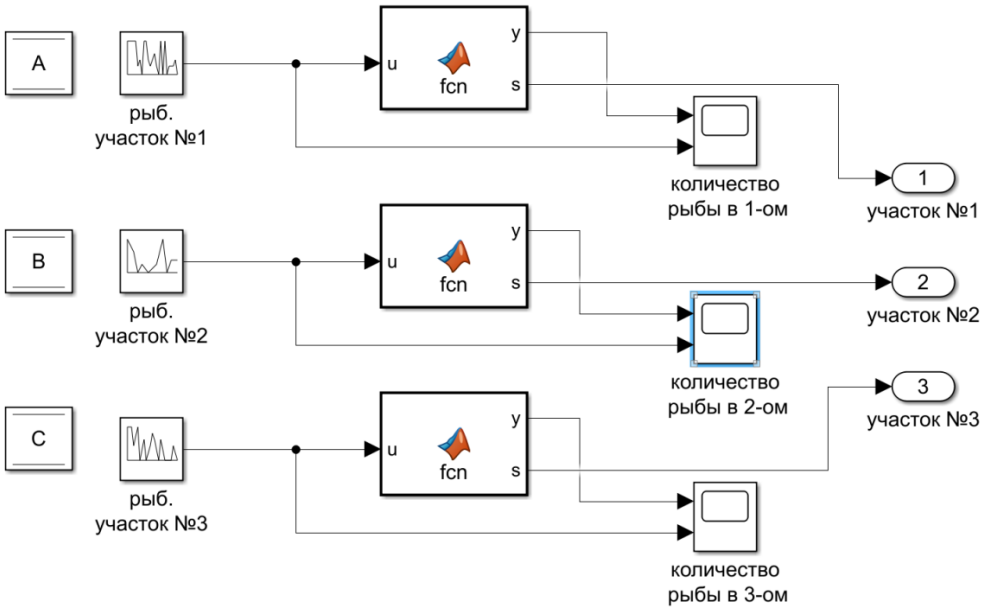


Рис. 2 – Блок «добыча»

После блока «добычи» идет блок «доставка». В данном блоке происходит расчет доставки рыбы, а также выявляется: какой маршрут будет более выгодным для предприятия по затратам топлива за 1 рейс. На рис.3. представлен блок «доставки» и, как пример, код функции блока «доставка» (рис.4.), содержащий модуль расчета пройденного пути.

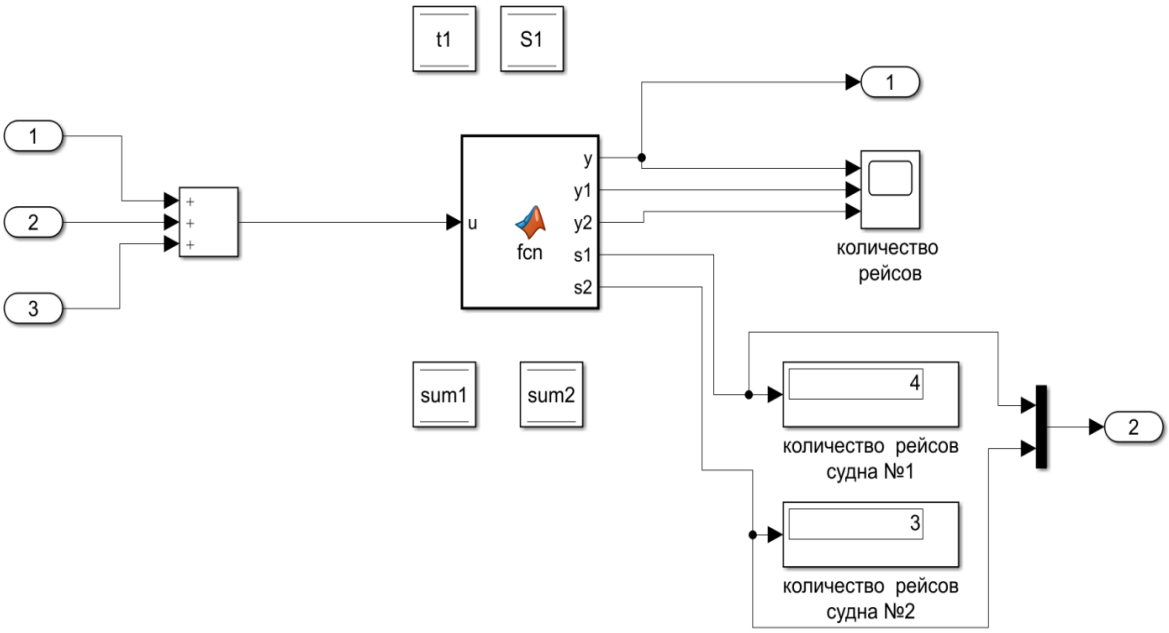


Рис. 3 – Блок «доставка»

доставка/MATLAB Function8

```
function [y, y1, y2,s1, s2] = fcn(u)
%#codegen
global S1;
global t1;
global sum1;
global sum2;
t2 = 0;
if S1<20
    S1=S1+u;
     if S1>=20 && t1>0
        t2=1;
        sum2=sum2+1;
        t1 = 0;
    end
    if S1>=20 && t2<1
     t1=1;
     sum1=sum1+1;
     t2=0;
    end
else
   S1=0;
end
y1 = t1;
y2= t2;
y = S1;
s1=sum1;
s2=sum2;
```

Рис. 4 – Код функции блока «доставка»

Последним крупным блоком представлен блок «завод». Блок разбит на подсистемы «Цех№1», «Цех№2» и блок распределения сырца по цехам. На данном этапе сырец перерабатывается готовую продукцию, а в подсистемах «Цех№1» и «Цех№2» высчитывается величина затрат на обработку сырца (см.рис.5-6.)

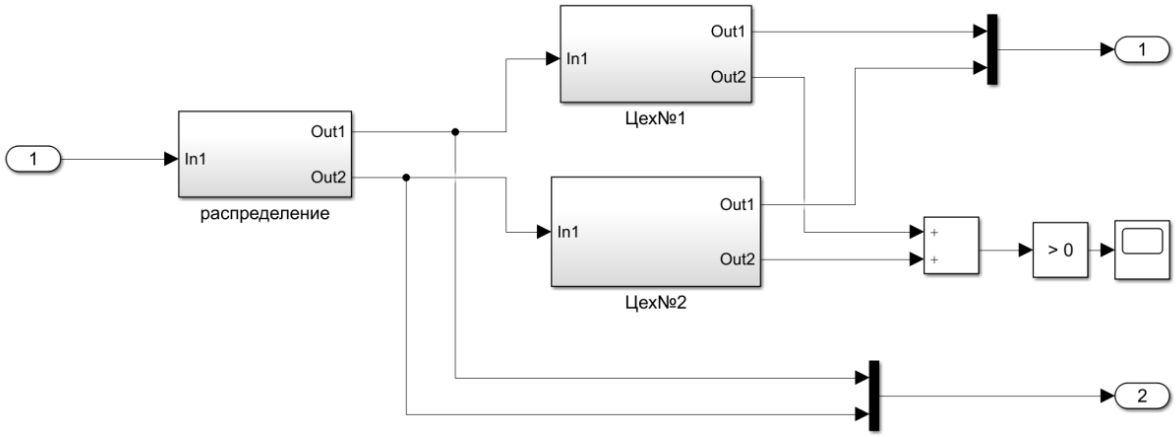


Рис. 5 – Блок «завод»

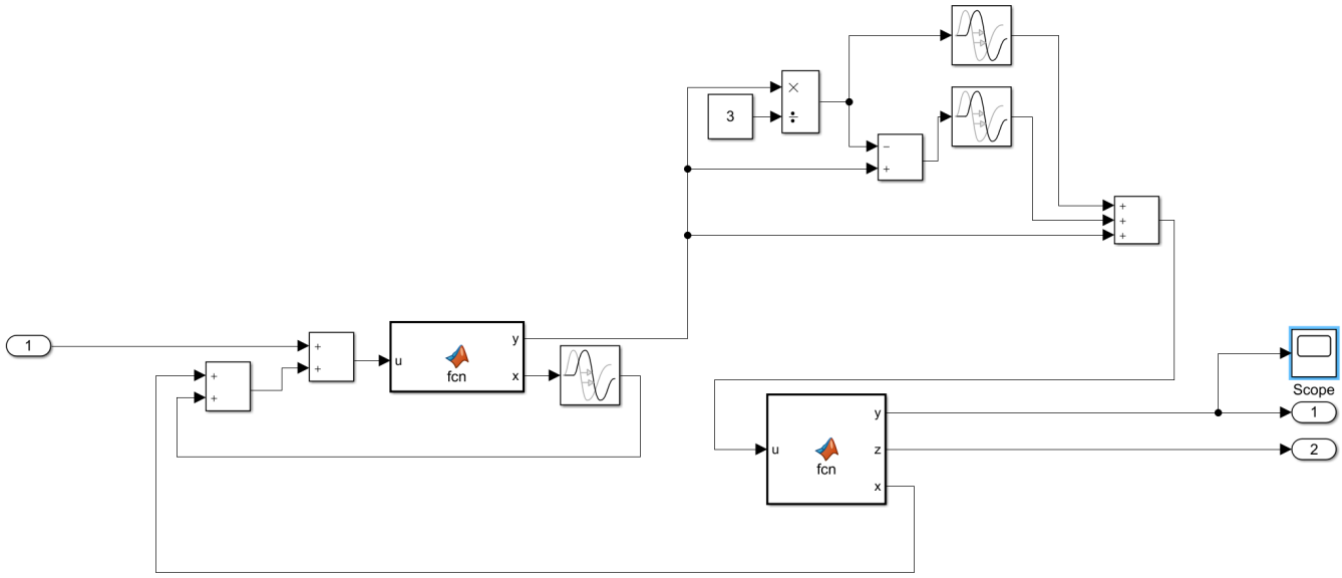


Рис. 6 – Блок «Цех№1»

В конце всей системы идут блоки, позволяющие выводить конечные результаты в рабочее поле MATLAB, где они будут сохранены. В остальных блоках по полученным данным (объем переработанной рыбы, затраты, рейсы судов) выводятся диаграммы, по которым можно будет судить о работе предприятия в целом.

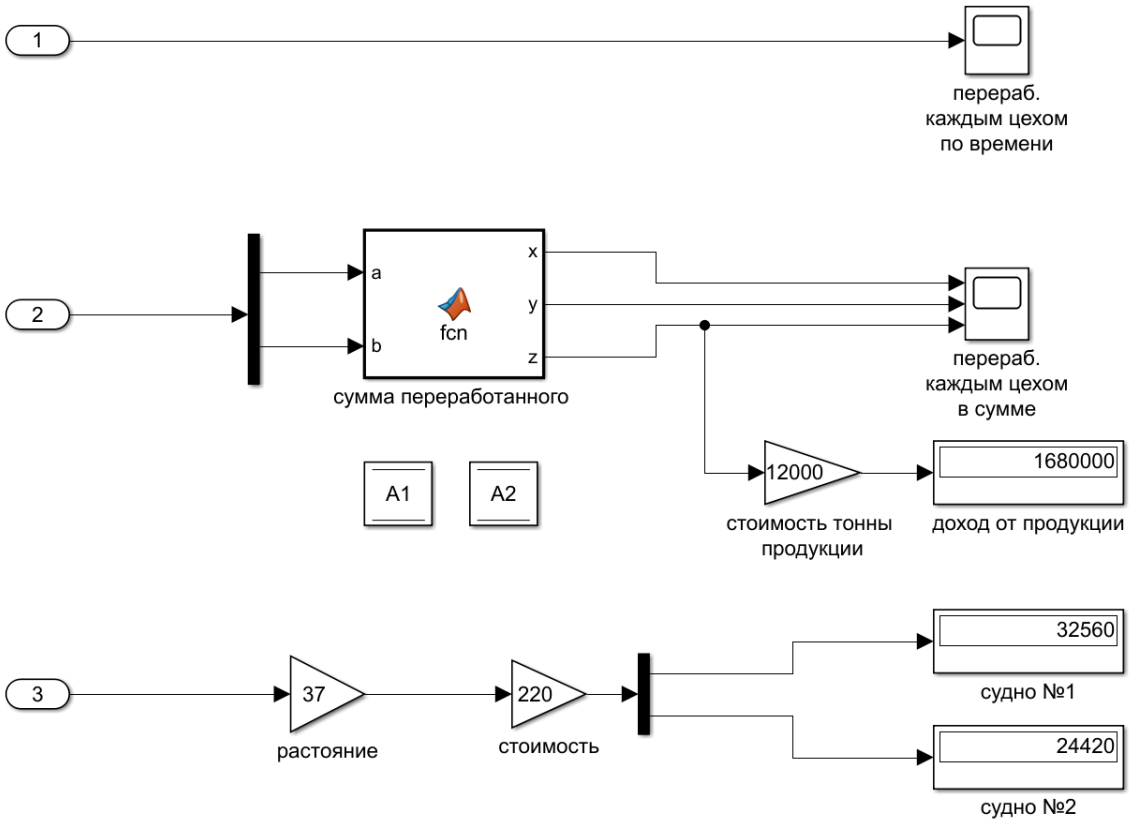


Рис. 7 – Блок «результаты»

Заключение

Предложенную модель возможно использовать для оптимизации работы рыбопромышленного предприятия. Конкретизацию модели предполагается провести в путину 2021. Конечно, модель потребует доработки исходя из промысловой ситуации и производственной платформы. Предполагается выбрать за основу предприятие, имеющее завод и несколько рыболовных участков в Камчатско-Курильской подзоне в период июль-сентябрь 2021 года.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Баранов Ф.И. К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства / Ф.И. Баранов // К вопросу о динамике рыбного промысла. Избранные труды, Т.З.М.: Пищевая промышленность, 1971.

2. Норинов Е.Г. Принципы управления и технические средства регулирования в системе прибрежного рыболовства / Е.Г. Норинов // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Рыбохозяйственное образование в XXI веке». Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2002

3. Бекяшев К.А. Морское и рыболовное право, охрана природы / К.А. Бекяшев и др. М.: Агропромиздат, 1990, 368с.

4. Биологические ресурсы гидросферы. Вопросы экономики. под ред. Лемешева М.Я. М.: Наука, 1985, 262 с.

5. Белов В.С. Информационно-аналитическая компьютерная система учета использования водных биоресурсов / В.С. Белов, И.Г. Проценко // Рыбное хозяйство, N5, 1993, стр.38-40.

6. Мониторинг рыболовства-2005: инструкции и рекомендации экипажам промысловых судов и судовладельцам / Л.А. Кошкарева, Ф.А. Образцов, И.Г. Проценко и др.; под общ. ред. д.т.н. Проценко. И.Г. – Петропавловск-Камчатский: Новая книга, 2005.

7. Информационные технологии моделирования процессов управления экономикой: учебное пособие / Гринберг А.С. – , 2003.

8. Норинов Е.Г. Статистические модели, используемые при обработке экспериментальных данных селективности буксируемых орудий лова / Е.Г. Норинов // Вестник КамчатГТУ. - 2002. - №1. С.5-12.

9. MATLAB // Simulink [Электронный ресурс]. URL: https://www.mathworks.com/products/simulink.html (дата обращения: 12.02.2021).

10. Exponenta // Документация [Электронный ресурс]. URL: https://docs.exponenta.ru/R2020a/documentation-center.html (дата обращения: 12.02.2021).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Baranov F. I. K voprosu o biologicheskikh osnovanijakh rybnogo khozjajjstva. K voprosu o dinamike rybnogo promysla. Izbrannye trudy, T.3.M. [On the Biological Basis of Fisheries. On the Issue of the Dynamics of Fishing. Selected Works, Vol. 3] / F. I. Baranov. M.: Pishchevaya promyshlennost, 1971 [in Russian]

2. Norinov E. G. Principy upravlenija i tekhnicheskie sredstva regulirovanija v sisteme pribrezhnogo rybolovstva [Principles of Management and Technical Means of Regulation in the System of Coastal Fisheries] / E. G. Norinov // Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Rybokhozjajjstvennoe obrazovanie v XXI veke» [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. "Fisheries Education in the 21th Century"]. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatGTU, 2002 [in Russian]

3. Bekyashev K. A. Morskoe i rybolovnoe pravo, okhrana prirody [Marine and Fishing Law, Nature Protection] / K. A. Bekyashev, Moscow: Agropromizdat, 1990, 368 p. [in Russian]

4. Biologicheskie resursy gidrosfery. Voprosy ehkonomiki [Biological Resources of the Hydrosphere. Economic Issues]. Edited by Lemesheva M. Ya. Moscow: Nauka, 1985, 262 p. [in Russian]

5. Belov V. S. Informacionno-analiticheskaja komp'juternaja sistema ucheta ispol'zovanija vodnykh bioresursov [Information and Analytical Computer System for Accounting for the Use of Aquatic Bioresources] / V. S. Belov, I. G. Protsenko Rybnoe khozyaystvo [Fisheries], N5, 1993, pp. 38-40 [in Russian]

6. Monitoring rybolovstva-2005: instrukcii i rekomendacii ehkipazham promyslovykh sudov i sudovladel'cam [Monitoring of Fishing-2005: Instructions and Recommendations to the Crews of Fishing Vessels and Ship Owners] / Koshkareva L. A., Obraztsov F. A., Protsenko I. G. et al.; Edited by Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Engineering Sciences, I. G. Protsenko — Petropavlovsk-Kamchatsky: Novaya kniga, 2005 [in Russian]

7. Informacionnye tekhnologii modelirovanija processov upravlenija ehkonomikojj: uchebnoe posobie [Information Technologies for Modeling Economic Management Processes: A Textbook] / A. S. Grinberg -, 2003 [in Russian]

8. Norinov E. G. Statisticheskie modeli, ispol'zuemye pri obrabotke ehksperimental'nykh dannykh selektivnosti buksiruemykh orudijj lova [Statistical Models Used in the Processing of Experimental Data on the Selectivity of Towed Fishing Gear] / E. G. Norinov // Vestnik KamchatGTU [Bulletin of Kamchatka State Technical University]. - 2002. - №1, pp. 5-12 [in Russian]

9. MATLAB // Simulink [Electronic resource]. URL: https://www.mathworks.com/products/simulink.html (accessed: 12.02.2021).

10. Exponenta // Documentation [Electronic resource]. URL: https://docs.exponenta.ru/R2020a/documentation-center.html (accessed 12.02.2021) [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.015

ВЛИЯНИЕ ИНСОЛЯЦИИ НА МИКРОКЛИМАТ ПОМЕЩЕНИЯ

Научная статья

Середа С.Н.*
ORCID: 0000-0002-9982-5875,
Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Муром, Россия

* Корреспондирующий автор (sereda-2010[at]mail.ru)

Аннотация

Целью работы является исследование влияния солнечной радиации на микроклимат жилых помещений путем оценки количества тепловой энергии, поступающей в помещение через светопрозрачные ограждающие конструкции зданий. Рассматривается структура измерительного комплекса, позволяющего осуществлять измерения и дистанционный контроль параметров микроклимата помещения посредством сети Интернет. Представлены результаты наблюдений микроклиматических параметров в переходной и отопительный периоды года. Предложена математическая модель экспериментальной оценки количества солнечной радиации, проникающей в помещение через окна. Получено эмпирическое соотношение отраженной и проникающей солнечной радиации в помещение через окна. Установлена эмпирическая зависимость поступающей теплоты и относительной влажности воздуха в помещении. Построено семейство температурно-влажностных характеристик воздуха в помещении вследствие нагрева от инсоляции. Показано влияние солнцезащитной пленки на термозащиту окон, которая меняет характер температурной зависимости влажности воздуха в помещении на экспоненциальный при нагреве за счет уменьшения доли тепловой энергии, проникающей в помещение. Дана количественная оценка продолжительности инсоляции и количества солнечной радиации, проникающей в помещение через окна в осенний период, а также в течение отопительного периода в ясные солнечные дни.

Ключевые слова: микроклимат, инсоляция, солнечная радиация, ограждающие конструкции, математическое моделирование.

EFFECT OF INSOLATION ON ROOM MICROCLIMATE

Research article

Sereda S.N.*
ORCID: 0000-0002-9982-5875,
Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia

* Corresponding author (sereda-2010[at]mail.ru)

Abstract

The aim of the study is to examine the influence of solar radiation on the microclimate of residential premises by assessing the amount of thermal energy entering the room through the translucent enclosing structures of buildings. The article examines the structure of the measuring system, which allows to measure and remotely control the parameters of the indoor microclimate via the Internet, and presents the results of observations of microclimatic parameters in the transition and heating periods of the year. The study also proposes a mathematical model for the experimental estimation of the amount of solar radiation entering the room through the windows and obtains the empirical ratio of reflected and penetrating solar radiation into the room through the windows. The authors establish the empirical dependence of the incoming heat and the relative humidity of the air in the room along with constructing a set of temperature and humidity characteristics of indoor air due to heating from insolation. The influence of the sunshield on the thermal protection of windows is also shown, which changes the nature of the temperature dependence of the indoor air humidity to an exponential one when heated by reducing the share of thermal energy entering the room. The study also conducts a quantitative assessment of the duration of insolation and the amount of solar radiation entering the room through the windows in the autumn period, as well as during the heating period on clear sunny days.

Keywords: microclimate, insolation, solar radiation, enclosing structures, mathematical modeling.

Введение

Для средней полосы России характерна ярко выраженная смена времен года, которые характеризуются различными климатическими параметрами, и, в свою очередь, влияют на микроклимат жилых помещений. Теплому периоду года свойственны умеренные климатические показатели, а микроклиматические в целом соответствуют гигиеническим нормативам. Осенний и весенний сезоны, когда не работает система отопления здания, определяют так называемый переходной период, в который микроклиматические показатели могут значительно отличаться от нормы. Так, например, осень в средней полосе России характеризуется пониженными ночными температурами и высокой влажностью воздуха, особенно в дождливую погоду, что оказывает влияние на микроклиматические параметры жилых помещений, смещая их значения из зоны комфорта на границу зоны допустимых воздействий. Для обеспечения комфортных условий среды в жилых зданиях используются инженерные системы отопления, вентиляции и кондиционирования [1].

Нормирование параметров микроклимата жилых помещений, как показателей среды обитания человека, проводится в соответствии с документами [2], [3]. ГОСТ 30494 определяет допустимые температуры воздуха 20 – 28ºС в теплый период и 18 – 24ºС в холодный период (когда среднесуточная температура наружного воздуха не превышает +8ºС), а также комфортные значения влажности 30% - 60% (допустимая не более 65%) в теплый период и 30% - 45% (допустимая не более 60%) в холодный период.

Одним из источников поступления теплоты в помещении, наряду с тепловыделениями от электроприборов и человека, является инсоляция помещения через оконные проемы за счет инфракрасной составляющей в спектре потока солнечной радиации. Солнечный свет создает естественную освещенность в помещении, влияет на микроклимат помещений и психофизиологические процессы в организме человека. Требования инсоляции жилых помещений, определенные в санитарных нормах и правилах [3], регламентируют нормы инсоляции с учетом географического и климатического расположения объекта, в том числе с целью предотвращения излишней солнечной радиации и теплового перегрева, что реализуется посредством объемно-планировочных решений, вентилируемых конструкций, а также применением различных солнцезащитных устройств [4]. Расчеты инсоляции помещений различными методами проводят при проектировании объектов строительства, а также для поверки на соответствие санитарным нормам в условиях изменения городской застройки [5], [6]. При этом одним из инструментов анализа инсоляции является математическое и компьютерное моделирование [7], [8].

По различным оценкам доля солнечной радиации, проникающей в помещение через окна, составляет от 20% до 40% от общего потока солнечной энергии. Применение энергосберегающих технологий, как-то защитные термопленки с внутренней стороны стекла или стеклопакеты с наполнением инертным газом и т.п., позволяет улучшить теплозащитные характеристики окон [9].

Постановка задачи исследования и описание измерительной установки

Научно-практический интерес представляет задача оценки количества солнечной радиации, поступающей в помещения, и анализа ее влияния на параметры микроклимата жилых помещений. Для этого необходимо провести наблюдения за изменением показателей микроклимата жилого помещения в течение переходного и отопительного периодов.

Измерения температуры и относительной влажности воздуха жилого помещения проводились с помощью измерительного комплекса, являющегося составной частью автоматизированной системы управления автономным отоплением [10], который включает: радио-датчик комнатной температуры и относительной влажности воздуха ZONT МЛ-745, размещенный внутри помещения; датчик наружной температуры воздуха ZONT МЛ-711, размещенный на поверхности окна с наружной стороны; радио-модуль ZONT МЛ-489; котроллер GSM ZONT H-1. Показания датчиков отображаются посредством web-интерфейса в личном кабинете на сайте zont-online, а также через мобильное приложение на смартфоне.

Математическая модель оценки поступления солнечной радиации

Для оценки количества солнечной радиации, проникающей в помещение, можно с некоторым допущением использовать формулу расчета теплопотерь (Вт) через ограждающие конструкции

$$Q = F \cdot \Delta T \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n / R_0, \quad (1)$$

где F – площадь ограждения, м^2; R0 – приведенное сопротивление теплопередач, равное от 0,49 до 0,8 в зависимости от градусо-суток отопительного периода, (м^2·°С)/Вт; ΔТ - разность температур на границе разделения сред, °С; β – коэффициент, учитывающий добавочные теплопотери через ограждения; n - коэффициент, учитывающий понижение расчетной разности температур для ограждений, отделяющих отапливаемое помещение от неотапливаемого.

С другой стороны, рассматривая окно, через которое солнечная радиация проникает в помещение, как греющую поверхность – источник теплоты, можно с достаточной точностью рассчитать тепловой поток за счет теплопередачи через окно (Вт)

$$Q = \alpha \cdot F \cdot \Delta T, \quad (2)$$

где F – площадь греющей поверхности, м2; α– коэффициент теплоотдачи греющей поверхности, для стекла от 1,9 до 2,3, Вт/(м^2·°С); ΔТ - разность средней температуры греющей поверхности и температуры воздуха в помещении, °С, либо, как разность наружной и внутренней температур поверхности окна.

Суммарная разность наружных температур воздуха равна

$$\Delta\overline{\overline{T}}_{\text{н}} = \int_{t_1}^{t_2} (T_{\text{н}} - T_{\text{н}0}) dt, \quad (3)$$

где t_1, t_2 – моменты времени начала и окончания инсоляции помещения за счет прямого и рассеянного светового потока; $T_{\text{н}}$ - температура наружного воздуха, регистрируемая при прямом солнечном потоке; $T_{\text{н}0}$ - наименьшая суточная температура наружного воздуха, регистрируемая до восхода солнца.

Суммарная разность температур воздуха в помещении равна

$$\Delta\overline{\overline{T}}_{\text{в}} = \int_{t_1}^{t_2} (T_{\text{в}} - T_{\text{в}0}) dt, \quad (4)$$

где t_1, t_2 – моменты времени начала и окончания инсоляции помещения за счет прямого и рассеянного светового потока; $T_{\text{в}}$ - температура воздуха в помещении, регистрируемая при прямом солнечном потоке; $T_{\text{в}0}$ - наименьшая суточная температура воздуха в помещении.

Тогда можно рассчитать суммарное количество тепловой энергии, поступающей в помещение и отраженной от окна, подстановкой в формулу (2) $\Delta\overline{\overline{T}}_{\text{в}}$ и $\Delta\overline{\overline{T}}_{\text{н}}$ соответственно.

Доля солнечной радиации, проникающей в помещение через окно, определяется

$$E_{\text{инс}} = \frac{Q_{\text{в}}}{Q_{\text{н}}} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Доля солнечной радиации, отраженной от поверхности окна, определяется

$$E_{\text{отр}} = 1 - E_{\text{инс}}. \quad (6)$$

Анализ результатов эксперимента

На рисунке 1 показаны графики температуры наружного воздуха и температуры и влажности воздуха в помещении в переходной период с 24.09. по 07.10.2020 до начала отопительного сезона. Динамика изменения температур отражает суточные колебания, обусловленные восходом и заходом солнца. Поступление в помещение теплоты от прямого солнечного света приводит к росту температуры внутреннего воздуха выше +30ºС в зоне светового проема и падению влажности воздуха до 40%. В остальное время суток наблюдается превышение нормы относительной влажности воздуха в помещении.

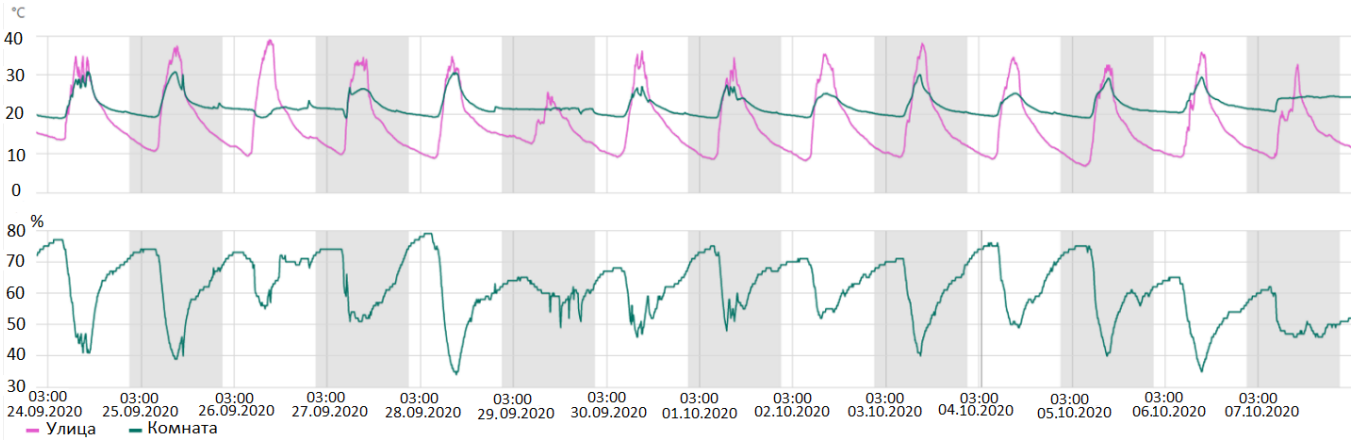


Рис. 1 – Графики температур и влажности воздуха в период с 24.09 по 07.10

На рисунке 2 показаны графики температур и влажности воздуха в помещении 28.09.2020.

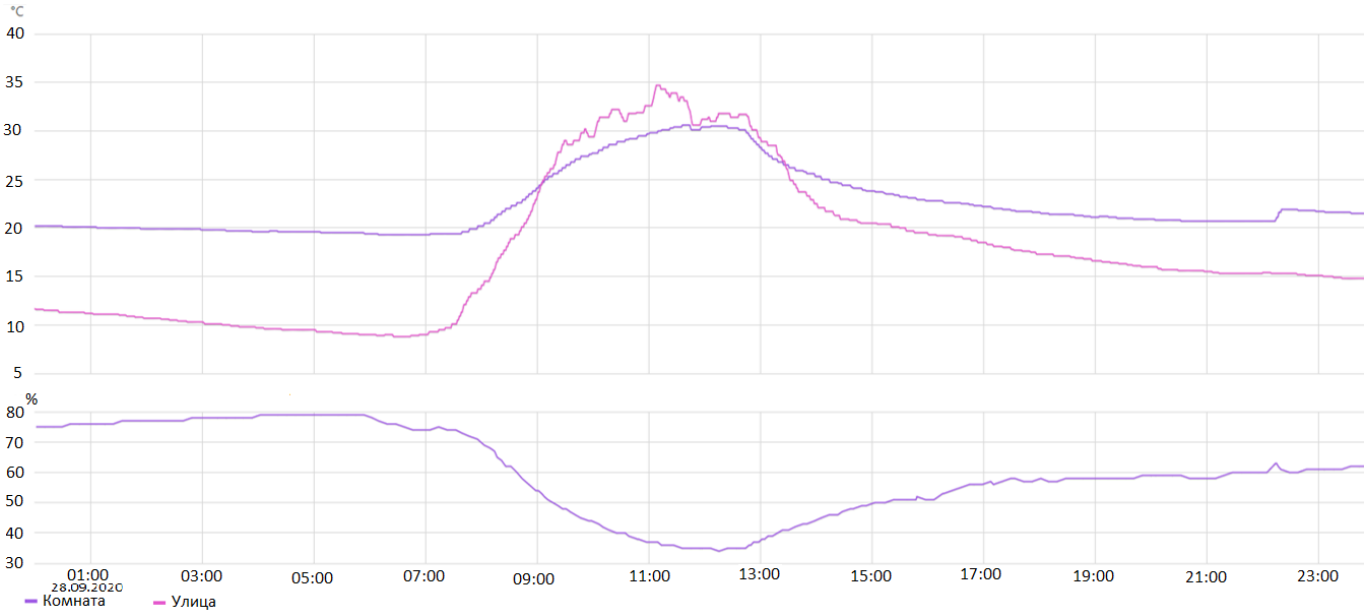


Рис. 2 – Графики температур и влажности воздуха от 28.09.2020

Уличная температура растет с 8,8ºС до 34,7ºС, максимум достигается в 11:08. В 12:46 за счет движения солнца по небосводу датчик «улица» оказывается в зоне тени, что приводит к дальнейшему снижению температуры наружного воздуха. В ночное время комнатная температура находится в пределах от 20,2 до 19,4ºС, влажность воздуха составляет 75 – 79%. Восход солнца приводит к снижению влажности до минимума 34% и росту комнатной температуры воздуха до 30,1ºС в полдень, но затем с перемещением солнца влажность растет, а комнатная температура воздуха падает до 20.7 ºС.

На рисунке 3 показаны графики температур и влажности воздуха в помещении от 27.09.2020 при закрытой оконной солнцезащитной матовой пленке, которая играет роль фильтра, что позволяет избежать перегрева воздуха в помещении, вызванного инсоляцией.

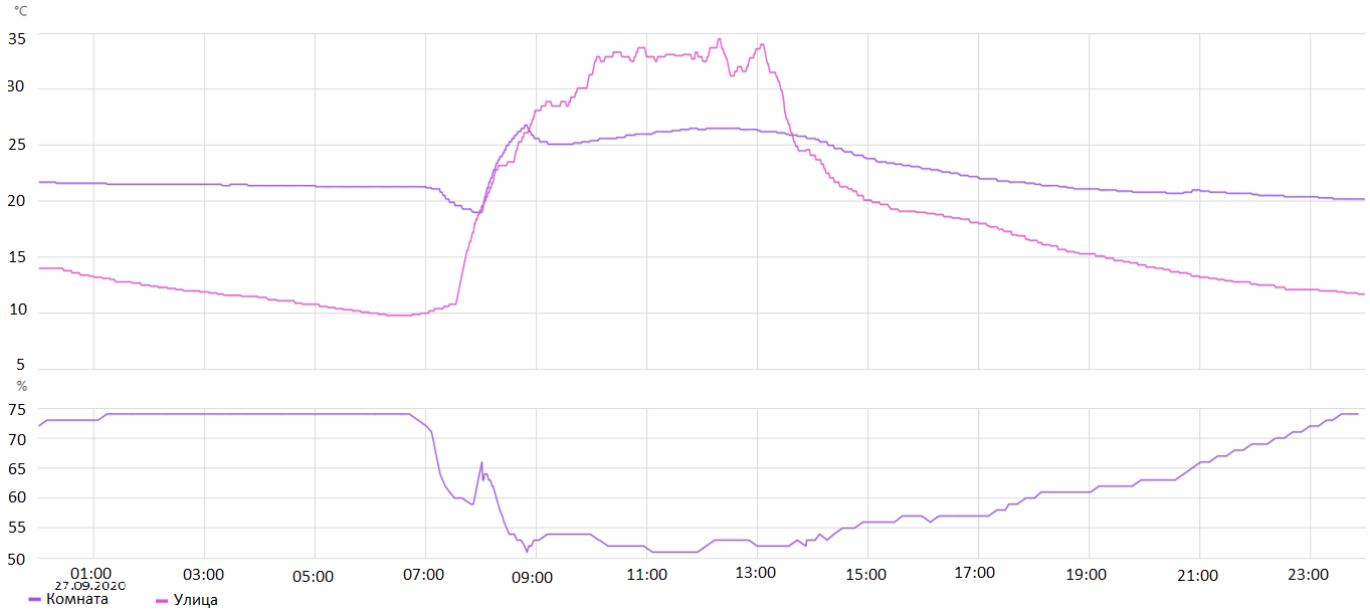


Рис. 3 – Графики температур и влажности воздуха от 28.09.2020

Динамика изменения температур и влажности воздуха в целом соответствует описанной выше. Максимум температуры на наружной поверхности окна достигается в полдень 34,5ºС. В 13:05 датчик «улица» оказывается в зоне тени и комнатная температура воздуха падает до 20.2 ºС в 23:58. Влажность воздуха в помещении при отсутствии отопления и инсоляции составляет 73 – 74%. Солнечная радиация снижает влажность воздуха до минимума 51% в 11:07 при опущенной солнцезащитной пленке с момента времени 8:50, при этом комнатная температура воздуха растет до 26,8ºС. далее растет до 74%. Открытие форточки на проветривание, с 7:15 до 8:00, приводит к снижению комнатной температуры до 19ºС.

Основное влияние на микроклимат помещения в зимний период оказывает работа системы отопления и теплопотери ограждающих конструкций (см. рисунок 4), поскольку существенно снижается число солнечных дней и сокращается время инсоляции. В установившемся режиме температура воздуха в помещении 21ºС, влажность воздуха меняется в пределах от 25% до 37%. Под воздействием солнечной радиации с 12 до 14 часов дня, температура воздуха растет до 26ºС, а влажность воздуха падает до 22%.

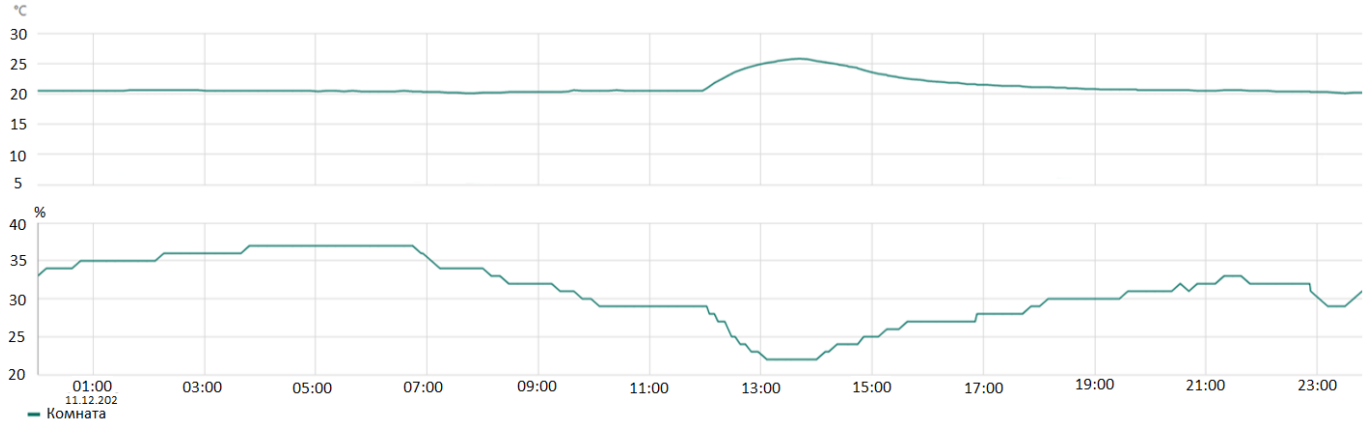


Рис. 4 – Графики температур и влажности воздуха от 11.12.2020

Увеличение продолжительности светового дня приводит к увеличению времени инсоляции помещения и количеству тепловой энергии, поступающей через окна (см. рисунок 5). Температура воздуха в помещении увеличивается на 5,5 ºС.

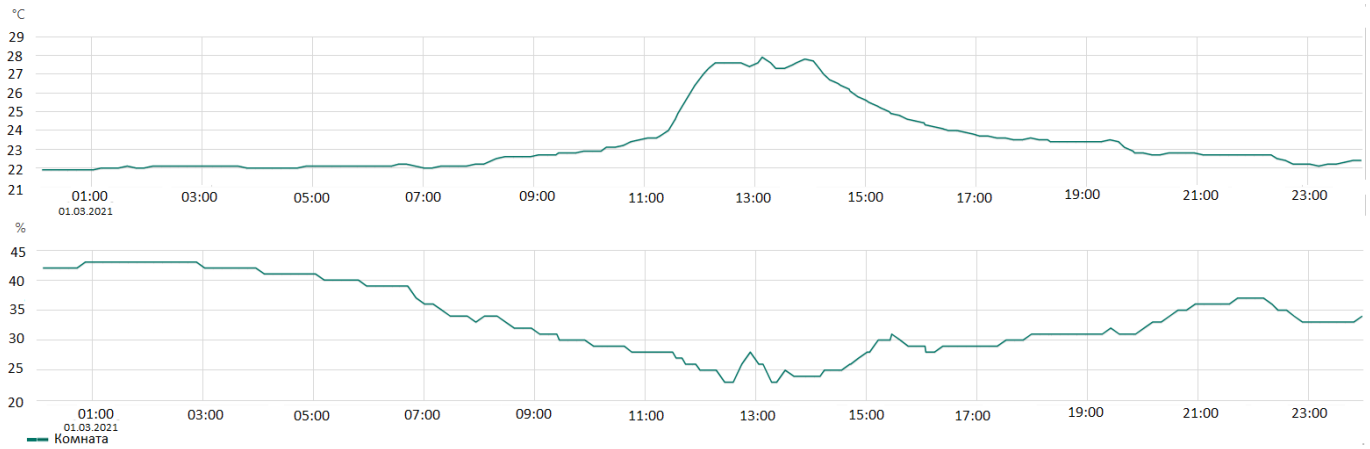


Рис. 5 – Графики температур и влажности воздуха от 01.12.2021

Графики на рисунке 6 показывают зависимость относительной влажности воздуха от температуры воздуха в помещении, изменяемой при поступлении солнечной радиации, построенную по данным наблюдений с учетом экстраполяции (пунктирные линии). Можно заключить, что данная зависимость имеет близкий к линейному характер при отсутствии светозащитной пленки. Солнцезащитная пленка на окне меняет характер температурной зависимости влажности воздуха в помещении на экспоненциальный при нагреве за счет уменьшения доли тепловой энергии, проникающей в помещение.

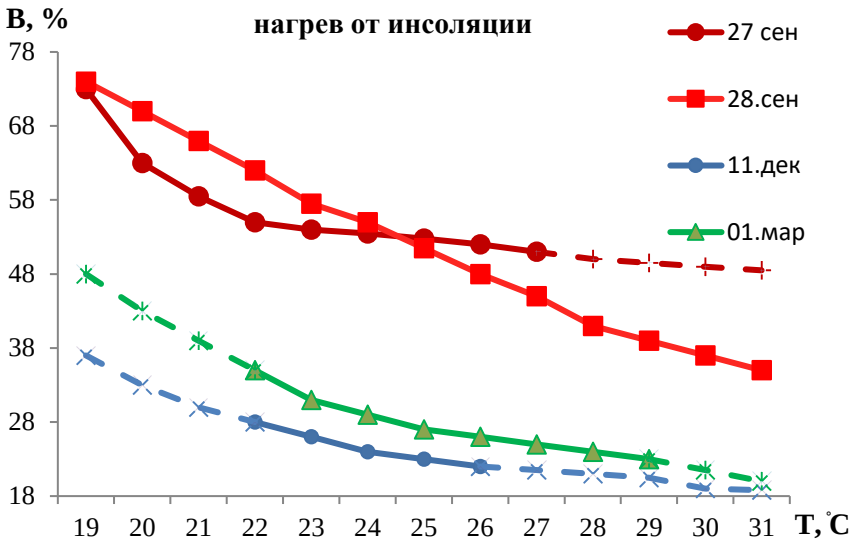


Рис. 6 – Графики зависимости влажности от температуры воздуха в помещении

Заключение

Согласно результатам расчетов по формулам (5) и (6) количество теплоты, проникающей в помещение через окно и отраженной от поверхности окна, составило 41,2% и 58,8% соответственно. Если закрыта солнцезащитная пленка, то соотношение доли проникающей в помещение тепловой энергии солнца и отраженной составляет 16% и 84% соответственно. Удельное количество солнечной радиации, проникающее в помещение через окно, рассчитанное на момент времени с максимальной дневной температурой 28.09.20, составило 88 Вт*ч, а за восьмичасовой световой период, с 7:00 до 15:00, 408 Вт*ч/м2. При этом, количество солнечной радиации 11.12.20 оказалось в 4,3 раза меньше, а 01.03.21 в 2,7 раза по сравнению с 28.09.20.

Продолжительность инсоляции жилых помещений зданий в центральной зоне России (58° с.ш.- 48° с.ш.), согласно нормам, составляет не менее 2 часов в день с 22 марта по 22 сентября. Фактическая инсоляция по результатам наблюдений для города Муром, 55°34′21″ с.ш. 42°03′05″ в.д., ориентация окон на Юго-восток, показывает, что продолжительность инсоляции за двухнедельный период с 24.09.2020 по 07.10.2020 составила около 4 часов ежедневно, за исключением пасмурных дней 29.09 и 07.10.2020. Продолжительность прямой инсоляции в декабре составила около 2 часов, а в начале весны около 3 часов.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. СП 131.13330.2018. “СНиП 23-01-99* Строительная климатология”. – Введ. 2012–06–30. – М.: Стандартинформ, 2019. – 114 с.

2. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – Введ. 2013–01–01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 12 с.

3. СанПиН 1.2.3685–21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека фактов среды обитания. – Введ. 2021–01–28. – [Электронный ресурс]. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102030022 (дата обращения: 14.04.2021).

4. Золотозубов Д.Г. Анализ влияния изменения инсоляции квартир на энергосбережение / Д.Г. Золотозубов, О.С. Карманова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7. – № 1. – С.82–92. DOI: 10.15593/2224–9826/2016.1.11

5. Бахарев Д.В. О нормировании и расчете инсоляции / Д.В. Бахарев, Л.Н. Орлова // Светотехника. – 2006. – №1. – С.18–27.

6. Куприянов В.Н. К исследованию инсоляции жилых помещений / В.Н. Куприянов, Ф.Р. Халикова // ACADEMIA архитектура и строительство. – 2010. – №3. – С.477–482.

7. Стрижак П.А. Математическое моделирование теплового режима здания с учетом инсоляционных теплопоступлений / П.А. Стрижак, М.Н. Морозов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т.326. – №8. – С.36–46.

8. Милосердов Е.П. Расчет и моделирование естественного освещения помещений / Е.П. Милосердов, А.А. Сидоров, Л.А. Шарипов // Информационная среда вуза. – 2015. – №1 (22). – С.102–107.

9. Борухова Л.В. Проектирование конструктивных солнцезащитных устройств / Л.В. Борухова, А.С. Шибенко // Наука и техника. – 2016. – Т. 15. – №2. – С.107–114.

10. Середа С.Н. Дистанционное управление системой автономного отопления / С.Н. Середа // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 6–2. – С.283–287.

Список литературы на английском языке / References in English

1. SP 131.13330.2018. “SNiP 23–01–99* Stroitelnaya climatologia. [Construction Climatology]. – Introdused 2012–06–30. – M.: Standartinform, 2019. – 114 p. [in Russian]

2. GOST 30494–2011. Zdania zhilye y obshestvennye. Parametry microclimata v povesheniah. [Residential and public buildings. Indoor climate parameters]. –Introdused 2013–01–01. – M.: Standartinform, 2013. – 12 p. [in Russian]

3. SanPiN 1.2.3685-21 Gigienicheskie normativy y trebovania k obespecheniyu bezopasnosty y (ily) bezvrednosty dlya cheloveka factov sredy obitania. [Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of the natural environment to humans]. – Introdused 2021–01–28. – [Electronic resource]. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102030022 (accessed: 14.04.2021). [in Russian]

4. Zolotozubov D.G. Analis vliyania ismenenia insolatzii kvartir na energosberegenie [Analysis of the influence of changes in the insolation of apartments on energy saving] / D.G. Zolotozubov, O.S. Karmanova // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture]. – 2016. – V.7. – № 1. – P.82–92. DOI: 10.15593/2224–9826/2016.1.11 [in Russian]

5. Bakharev D.V. O normirovanii y raschete insolatzii [About rationing and calculation of insolation] / D.V. Bakharev, L.N. Orlova // Svetotehnika [Svetotekhnika]. – 2006. – №1. – P.18–27. [in Russian]

6. Kupriyanov V.N. K issledovaniyu insolatzii zhilych pomesheniy [To study the insolation of residential premises] / V.N. Kupriyanov, F. R. Khalikova // ACADEMIA arhitektura i stroitel'stvo [ACADEMIA architecture and construction]. – 2010. – № 3. – P.477–482. [in Russian]

7. Strizhak P.A. Matematicheskoe modelirovanie teplovogo regima zdania s uchetom insolatzionnych teplopostupleniy [Mathematical modeling of the thermal regime of a building taking into account the insolation heat gain] / P.A. Strizhak, M.N. Morozov // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Proceedings of the Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering]. – 2015. – V. 326. – №8. – P.36–46. [in Russian]

8. Miloserdov E.P. Raschet y modelirovanie estestvennogo osveshenia pomesheniy [Calculation and modeling of natural lighting of premises] / E.P. Miloserdov, A.A. Sidorov, L.A. Sharipov // Informacionnaja sreda vuza [Information environment of the university]. – 2015. – №1 (22). – P.102–107. [in Russian]

9. Borukhova L.V. Proektirovanie konstruktivnych solntzezashitnych ustroystv [Designing constructive sunscreen devices] / L.V. Borukhova, A.S. Shibenko // Nauka i tekhnika [Science and Technology]. – 2016. – V. 15. – №2. – P.107–114. [in Russian]

10. Sereda S.N. distancionnoe upravlenie sistemoy avtonomnogo otoplenia [Remote control of the autonomous heating system] / S.N. Sereda // Sovremennye naukoemkie tehnologii [Modern high-tech technologies]. – 2020. № 6–2. – P. 283–287. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.016

ДИАГНОСТИКА ВВОДОВ ВОЗДУХ-ЭЛЕГАЗ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ЭЛЕГАЗОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Научная статья

Чайка В.С.[1, *], Тетиора С.Ю.[2]

[1, 2] Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

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

Аннотация

Статья посвящена вопросам оценки технического состояния вводов воздух-элегаз в комплектных распределительных устройствах с элегазовой изоляцией методом электромагнитного контроля на основе анализа спектральных характеристик собственного электромагнитного излучения вводов. В работе приведен анализ аварийности и существующих способов диагностики КРУЭ, в программном комплексе Altair FEKO создана математическая модель, включающая в себя как непосредственно излучающее оборудование, так и ближайшие к нему конструкции, выполнен расчет электромагнитного поля на резонансных частотах ввода воздух-элегаз, определены точки расположение измерительной аппаратуры. Приведены результаты регистрации спектральных характеристик вблизи вводов элегаз-воздух КРУЭ 220 кВ, проведен анализ полученных характеристик.

Ключевые слова: диагностика, ввод элегаз-воздух, комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией, частичный разряд.

GAS INSULATED SWITCHGEAR SF6-TO-AIR BUSHING DIAGNOSIS

Research article

Chaika V.S.[1, *], Tetiora S.Y.[2]

[1, 2] Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

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

Abstract

The article is devoted to the issues of assessing the technical condition of air-SF6 inputs in complete switchgears with SF6 insulation by the method of electromagnetic control based on the analysis of the spectral characteristics of the self-electromagnetic radiation of the inputs. The paper provides an analysis of the accident rate and existing methods for diagnostics of gas insulated switchgear, a mathematical model was created in the Altair FEKO software package, which includes both the directly radiating equipment and the structures closest to it, the calculation of the electromagnetic field at the resonant frequencies of the air-SF6 inputs, the points of measuring equipment location were determined. The spectral characteristics of the self-electromagnetic radiation of SF6-air inputs with nominal voltage equal 220 kV gas insulated switchgear were recorded, the obtained characteristics was analyzed.

Keywords: diagnostics, SF6 to air bushing, gas insulated switchgear, partial discharge.

Введение

В настоящее время при строительстве распределительных устройств (РУ) напряжением 110 кВ и выше вместо традиционных открытых и закрытых РУ всё чаще применяются комплектные распределительные устройства с элегазовой изоляцией (КРУЭ) по причине высокой надёжности и сравнительно небольших габаритов данного оборудования.

Основными недостатками КРУЭ являются: высокие первоначальные капиталовложения; недоступность токоведущих частей для осмотра; сложность ремонтов. В настоящее время в России функционирует более 120 КРУЭ различных производителей и разных классов напряжения, подавляющее большинство которых приходится на зарубежных производителей, что в условиях неблагоприятной международной обстановки может привести к длительному простою оборудования при выходе его отдельных элементов из строя, либо к высоким затратам на формирование аварийного резерва оборудования. Поэтому большое внимание должно быть уделено диагностике КРУЭ и оценке его технического состояния.

Выявление дефектов на ранних стадиях развития – это единственный способ предотвращения финансовых потерь, связанных с отказом оборудования, и путь для перехода от ремонтов оборудования по установленной периодичности (планово-предупредительных) к ремонтам с учетом фактического технического состояния оборудования, что является одной из основных задач стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации [1]. Несмотря на высокую стоимость систем диагностики [2] и высокую надежность КРУЭ, затраты на ликвидацию последствий аварий весьма ощутимы и, если хотя бы один отказ будет предотвращен системой диагностики, то она полностью себя окупает.

Конструкция КРУЭ

КРУЭ представляет из себя совокупность связанных между собой металлических модулей, внутри которых размещаются токоведущие части (шины) и отдельные аппаратные элементы (выключатели, разъединители, измерительные трансформаторы), заключенные в герметичную металлическую оболочку, заполненную элегазом под давлением. Каждый элемент заключен в отдельный газоизолированный модуль. В России, в связи с суровыми климатическими условиями, КРУЭ монтируются в зданиях, ввод высоковольтных токоведущих частей в которые возможен двумя способами: воздух-элегаз, кабель-элегаз.

Ввод кабель-элегаз производится посредством кабельных муфт, монтируемых в аппаратном зале КРУЭ и кабеля, уходящего в кабельный этаж под аппаратным залом. Недостатки данного метода заключаются в необходимости строительства кабельного этажа и необходимости монтажа в нём системы контроля утечки элегаза, что ведёт к

повышению капитальных затрат, а также в возможности повреждения кабеля соседних фаз при повреждении кабеля и введенном автоматическом повторном включении линии. Достоинство данного метода – в компактности и полном отсутствии открытых токоведущих частей.

Ввод воздух-элегаз производится через стены здания КРУЭ посредством вводов с элегазовой или твёрдой RIP-изоляцией со стороны улицы и шинным модулем внутри здания КРУЭ. При этом данный шинный модуль выполняется единым объемом с вводом с элегазовой изоляцией и на большой высоте относительно пола. В данной статье рассматривается опыт диагностики вводов воздух-элегаз в элегазовой изоляции методом электромагнитного контроля.

Вводы с элегазовой изоляцией представляют из себя изолятор, внешняя изоляция которого выполняется из фарфора или полимерных материалов и обеспечивает необходимое разрядное расстояние и длину пути утечки по наружной поверхности и механическую прочность, а внутренняя полость ввода заполняется элегазом под давлением.

Рис. 1 – Ввод воздух-элегаз

Аварийность и существующие методы диагностики

В таблице 1 приведены данные опроса СИГРЭ [3] по аварийности отдельных элементов КРУЭ различных классов напряжения.

Таблица 1 – Аварийность отдельных элементов КРУЭ напряжением 110 кВ и выше

Элементы КРУЭ	В целом, %	По классам напряжения, %	
		100 – 200 кВ	200 – 700 кВ
Выключатель	42,3	54,7	29,9
Разъединитель	17,7	17,2	18,2
Отсеки и соединительные части	13,25	4,1	22,4
Трансформатор напряжения	5,5	6,2	4,8
Главные токоведущие части	5,3	3,7	6,9
Вводы «воздух-элегаз»	4,8	1,1	8,5
Заземлитель	4,45	5,3	3,6
Трансформатор тока	0,95	0,7	1,2
Прочие	5,75	7,0	4,5

Из таблицы 1 видно, что в КРУЭ наиболее подвержены повреждениям высоковольтные коммутационные аппараты: выключатели и разъединители, что объясняется наличием в данных элементах подвижных частей и регулярными дуговым процессами. На вводы воздух-элегаз приходится около 5% всех повреждений, причём для КРУЭ напряжением 220 кВ и выше этот показатель достигает 8,5%. Столь малое, на первый взгляд, количество аварий можно объяснить сравнительно не частым применением вводов воздух-элегаз. Коммутационные аппараты присутствуют в каждой ячейке КРУЭ, в то время как вводы – только в ячейках линий и силовых трансформаторов, при этом значительная часть вводов выполнена по схемам кабель-элегаз, либо масло-элегаз, применяемой только для силовых трансформаторов.

Согласно [4] КРУЭ 110 кВ и выше рекомендуется оснащать автоматизированными системами мониторинга и контроля давления элегаза в газовых модулях и уровня частичных разрядов (ЧР) по показателям: регулярность ЧР, опасный кажущийся заряд ЧР, длительность одного цикла регистрации ЧР.

Системы контроля давления элегаза устанавливаются производителем, так как требуют вмешательства в конструкцию модулей и представляют из себя денсиметры, имеющие, как минимум, две пары контактов для вывода предупредительной и аварийной сигнализации об утечке элегаза [5].

Системы мониторинга уровня частичных разрядов широко представлены на рынке [6]. Основными методами регистрации ЧР в КРУЭ являются: химический; акустический; электрический и электромагнитный.

Химический метод заключается в отборе и последующем анализе проб элегаза из каждого модуля КРУЭ. Данный метод достаточно трудоемок и требует обязательного участия человека [7]. Кроме того, им невозможно определить начальные стадии повреждений, вызванные ЧР.

Акустический метод состоит в регистрации акустических волн, возникающих в результате ЧР. При этом, крайне сложно оценить характеристики ЧР, поскольку на распространение сигнала от источника до датчика сильное влияние оказывают сложная геометрия КРУЭ и различие сред, таких как элегаз, твердая изоляция, сталь [8]. Поэтому данный метод применяют для определения наличия ЧР и их локализации по временным интервалам между сигналами и скорости распространения.

Электрический метод основывается на измерении импульсов тока. Локализация источника ЧР осуществляется несколькими датчиками, используя затухание и временные задержки между сигналами. Применение данного метода сдерживается недостаточной устойчивостью к помехам, создаваемых коронными разрядами на внешних присоединениях.

Электромагнитному методу отдается наибольшее предпочтение как самому помехоустойчивому и эффективному методу регистрации и локализации ЧР в КРУЭ. Датчики представляют собой антенны, регистрирующие сигналы в

сверх- и ультравысокочастотном диапазоне, которые устанавливаются на изоляторы в местах соединений модулей КРУЭ. Локализация места возникновения ЧР осуществляется аналогично электрическому методу [9].

Однако, так как основным принципом локализации частичных разрядов является регистрация временных задержек между сигналами геометрически разнесенных антенн, то не представляется возможным однозначно определить, находится источник ЧР в модуле ввода воздух-элегаз, или же за ним, поскольку он выполняется единым объемом от модуля линейного заземлителя до аппаратного зажима, то по всей его длине отсутствуют изоляторы для монтажа антенн. Кроме того, в зависимости от компоновки, модуль ввода воздух-элегаз является самым протяженным во всём КРУЭ, что ещё раз говорит о важности разработки новых методов диагностики данного элемента.

Диагностика вводов воздух-элегаз методом анализа спектров собственного электромагнитного излучения

В этом случае контроль технического состояния осуществляется путем регистрации и анализа спектров собственного электромагнитного излучения оборудования. В этом случае важное значение имеет выбор места расположения измерительной аппаратуры в виде антенны и спектроанализатора.

В программном комплексе Altair FEKO была разработана излучающая модель шести вводов воздух-элегаз КРУЭ 220 кВ, позволяющая рассчитать собственное электромагнитное излучение ввода, а также учесть наличие расположенных вблизи строительных конструкций (здание КРУЭ, фундаментов и стоек ОПН), электрических аппаратов (ОПН) и соединительных проводов (см. рисунок 2). Поверхность грунта задана в виде однородного пространства. В полученной модели выполнено разбиение элементов на сетку из сегментов (отрезков провода, треугольников и тетраэдров).

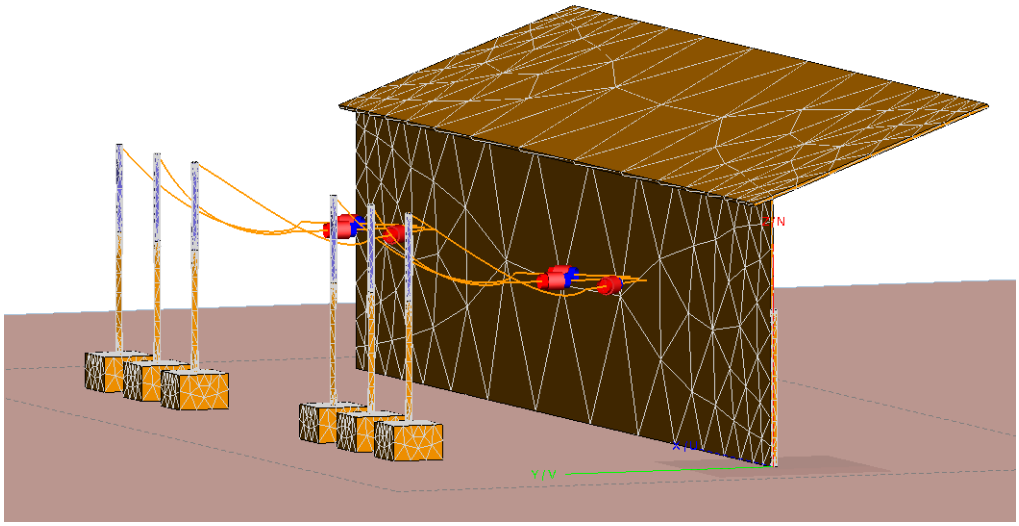


Рис. 2 – Излучающая модель изоляторов воздух-элегаз КРУЭ 220 кВ

Для модели, представленной на рисунке 2, в программном комплексе Altair FEKO выполнен расчет электромагнитного поля на частоте 82,15 МГц, являющейся основной резонансной частотой вводов, рассчитанной по формуле 1 и на частотах границ информационного частотного диапазона, полученных сложением и вычитанием ширины информационной частотной полосы, рассчитанной по формуле 2, и резонансной частоты вводов и равняющихся 70,41 МГц и 93,89 МГц.

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \text{Гц}, \quad (1)$$

$$\Delta f = \frac{f_{\text{рез}}}{Q}, \text{Гц}, \quad (2)$$

где Q – эквивалентная добротность антенны на основной резонансной частоте f.

В результате, по полученной информационной диаграмме направленности излучения, с учётом пространственных ограничений и требований электробезопасности, были выбраны три точки расположения антенны измерительного комплекса: на расстоянии 6,75 м и под углами 45º, 90º и 135º от точки входа вводов в здание КРУЭ.

Регистрация спектров проводилась на вводах воздух-элегаз ячейки автотрансформатора КРУЭ 220 кВ при помощи комбинированной антенны П6-11М, анализатора спектра RSA306B и ноутбука в ноябре 2019 года и феврале 2021 года при температурах окружающего воздуха -5ºс и -4ºс соответственно. Загрузка автотрансформатора по стороне 220 кВ при первом измерении составляла I_A = 46,35 А, I_B = 44,22 А, I_C = 45,87 А, а при втором I_A = 42,71 А, I_B = 41,18 А, I_C = 44,9 А.

Полученные в результате измерений спектры электромагнитного излучения вводов ячейки автотрансформатора АТ-2 при установке антенны под углами 45º, 90º и 135º от точки входа вводов в здание КРУЭ представлены на рисунках 3 и 4. На спектрах видно, что в информационных частотах, соответствующих изоляторам воздух-элегаз, находятся зоны с повышенной спектральной плотностью. При повторных обследованиях форма спектра, амплитуда и количество пиков существенно не изменились.

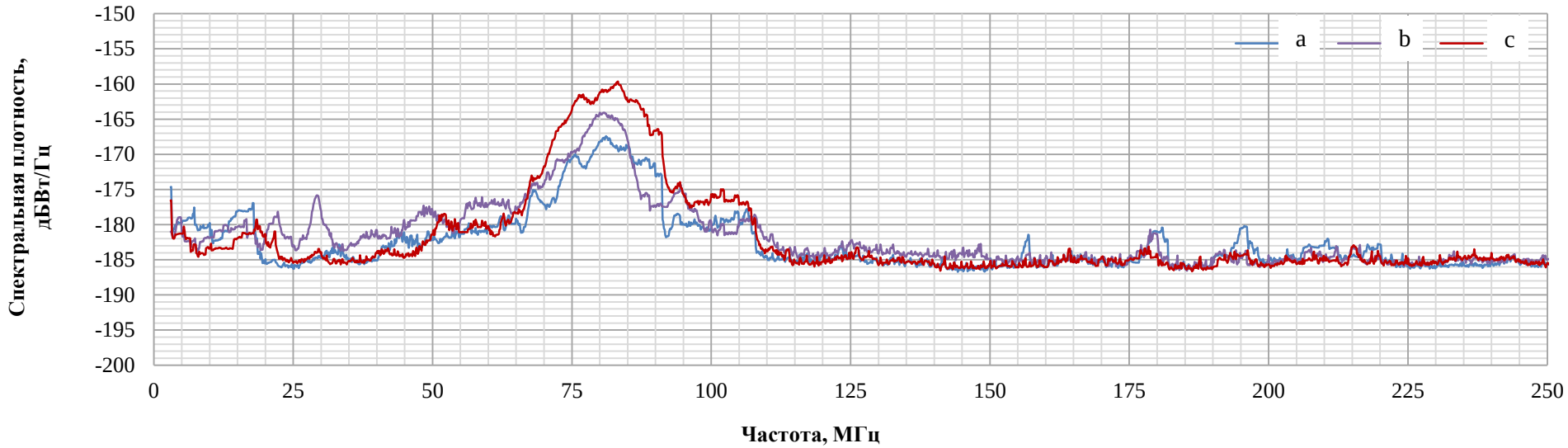


Рис. 3 – Спектральные характеристики замера от ноября 2019 года:
a) Установка антенны под углом 45º; *b)* Установка антенны под углом 90º; *c)* Установка антенны под углом 135º

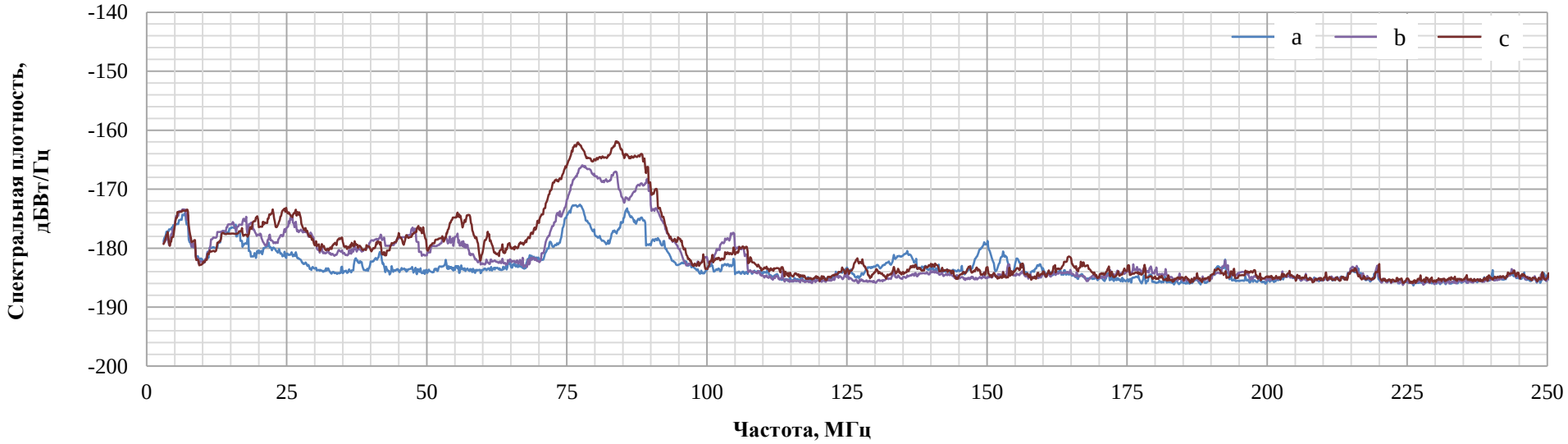


Рис. 4 – Спектральные характеристики замера от февраля 2021 года:
a) Установка антенны под углом 45º; *b)* Установка антенны под углом 90º; *c)* Установка антенны под углом 135º

Для численной оценки состояния оборудования вычислим интегральную мощность излучения в информационных частотах по формуле:

$$P_i = \int_{f_н}^{f_к} 10^{0,1\gamma(f)} df \text{, дБВт} \quad (3)$$

где $f_к$ и $f_н$ – границы информационной частотной полосы.

γ(f) – значения спектральной плотности.

Для оценки технического состояния оборудования необходимо определить эталонные значения интегральной мощности [10]. В качестве эталонных принимаем значения, сформированные по наименьшим значениям спектральной плотности однотипного оборудования, работающего в схожем режиме эксплуатации. В данном КРУЭ аналогичным образом были проведены замеры электромагнитного излучения вводов воздух-элегаз ячеек автотрансформатора и отходящей линии. Отношение интегральной мощности диагностируемого оборудования к эталонному составило 1,05, что свидетельствует о том, что состояние оборудования соответствует норме.

Заключение

В результате исследования проверена принципиальная возможность оценки технического состояния вводов воздух-элегаз комплектных распределительных устройств с элегазовой изоляцией методом анализа спектров собственного электромагнитного излучения. Выявлено соответствие рассчитанных значений резонансной частоты и границ информационного частотного диапазона вводов элегаз-воздух фактическим частотам, полученным в ходе измерений. При помощи программного комплекса Altair FEKO определены точки размещения диагностического оборудования.

Исходя из стабильной формы спектров электромагнитного излучения с течением времени, можно судить как о детерминированной диагностической ценности метода электромагнитного контроля, так и о стабильном техническом состоянии исследуемых элементов КРУЭ. В рамках исследования произведена регистрация спектров аналогичных вводов ячеек автотрансформатора и отходящей воздушной линии. Определено эталонное значение спектральной плотности и состояние диагностируемого оборудования признано соответствующим норме.

Однако, для дальнейшего повышения точности оценки состояния требуется накопление базы составных эталонных спектров различного высоковольтного электротехнического оборудования, что позволит как отслеживать изменения в техническом состоянии, так и проводить ранжирование однотипного оборудования.

Конфликт интересов

Не указан

Conflict of Interest

None declared

Список литературы / References

1. Распоряжение Правительства РФ от 03.04.2013 № 511-р (ред. от 29.11.2017) «Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации». – М.: 2013. – 43 с.
2. Аракелян, В.Г. Оперативная диагностика состояния элегазового оборудования по физико-химическим показателям / В.Г. Аракелян // Электротехника. – 2002. – № 3. – С. 56 – 65.
3. Final Report of the 2004 - 2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment. Part 5 – Gas Insulated Switchgear (GIS) // CIGRE. – 2012. – pp. 75–87.
4. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе». – М.: 2019. – 219 с.
5. Аракелян, В.Г. Определение утечки элегаза из электротехнических аппаратов / В.Г. Аракелян, В.Н. Демина // Электротехника. 1992. – № 4 – 5. – С. 65 – 68.
6. Управление эксплуатацией высоковольтных кабельных линий и комплектных распределительных устройств по техническому состоянию // Димрус. – Пермь. – [Электронный ресурс]. URL: https://dimrus.com/manuals/energoexpert0220.pdf (дата обращения: 25.03.2021).
7. Arakelian, V.G. Diagnostics for the condition of SF6 equipment based on physico-chemical parameters / V.G. Arakelian, A.J Kovalenko // IEEE Electrical Insulation Magazine. – 2001. – Vol. 17, No. 2. – pp. 42-51.
8. Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования / В.П. Вдовико. – Новосибирск: Наука, 2007. – 155 с.
9. Русов, В.А. Дистанционная локация мест возникновения дефектов в энергетическом оборудовании в UHF (СВЧ) диапазоне частот / В.А. Русов, [Электронный ресурс]. – 2010. – URL: https://www.slideserve.com/gen/dimrus (дата обращения: 25.03.2021).
10. Силин Н.В. Оценка технического состояния электроэнергетического оборудования по спектральным характеристикам излучаемого электромагнитного поля / Н.В. Силин // Известия Российской академии наук. Энергетика, 2008. – №3. – С. 86-91.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rasporjazhenie Pravitel'stva RF ot 03.04.2013 № 511-r (red. ot 29.11.2017) «Ob utverzhdenii Strategii razvitija jelektrosetevogo kompleksa Rossijskoj Federacii» [Order of the Government of the Russian Federation of 03.04.2013 No. 511-r (as amended on 29.11.2017) "On approval of the Strategy for the development of the power grid complex of the Russian Federation"]. – M.: 2013. – 43 p. [in Russian]
2. Arakeljan, V.G. Operativnaja diagnostika sostojanija jelegazovogo oborudovanija po fiziko-himicheskim pokazateljam [Rapid diagnostics of the state of gas-insulated equipment by physical and chemical indicators] / V.G. Arakeljan // Jelektrotehnika [Electrical engineering]. – 2002. – № 3. – P. 56 – 65. [in Russian]

3. Final Report of the 2004 - 2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment. Part 5 – Gas Insulated Switchgear (GIS) // CIGRE. – 2012. – pp. 75–87.

4. Polozhenie PAO «Rosseti» «O edinoj tehnicheskoj politike v jelektrosetevom komplekse» [Regulation of PJSC "Rosseti" "On a unified technical policy in the power grid complex"]. – M.: 2019. – 219 p. [in Russian]

5. Arakeljan, V.G. Opredelenie utechki jelegaza iz jelektrotehnicheskih apparatov [Determination of SF6 gas leakage from electrical devices] / V.G. Arakeljan, V.N. Demina // Jelektrotehnika [Electrical engineering]. 1992. – № 4 – 5. – P. 65 – 68. [in Russian]

6. Upravlenie jekspluataciej vysokovol'tnyh kabel'nyh linij i komplektnyh raspredelitel'nyh ustrojstv po tehnicheskomu sostojaniju [Management of operation of high-voltage cable lines and complete switchgears by technical condition] [Electronic resource]. – 2020 – URL: https://dimrus.com/manuals/energoexpert0220.pdf (accessed: 25.03.2021). [in Russian]

7. Arakelian, V.G. Diagnostics for the condition of SF6 equipment based on physico-chemical parameters / V.G. Arakelian, A.J Kovalenko // IEEE Electrical Insulation Magazine. – 2001. – Vol. 17, No. 2. – pp. 42-51.

8. Vdoviko V.P. Chastichnye razrjady v diagnostirovanii vysokovol'tnogo oborudovanija [Partial discharges in diagnostics of high-voltage equipment] /V.P. Vdoviko. – Novosibirsk: Nauka [Science], 2007. – 155 p. [in Russian]

9. Rusov, V.A. Distancionnaja lokacija mest vozniknovenija defektov v jenergeticheskom oborudovanii v UHF (SVCh) diapazone chastot [Remote location of places of occurrence of defects in power equipment in the UHF (microwave) frequency range] [Electronic resource]. – 2010. – URL: https://www.slideserve.com/gen/dimrus (accessed: 25.03.2021). [in Russian]

10. Silin N.V. Ocenka tehnicheskogo sostojanija jelektrojenergeticheskogo oborudovanija po spektral'nym harakteristikam izluchaemogo jelektromagnitnogo polja [Assessment of the technical condition of electric power equipment by the spectral characteristics of the radiated electromagnetic field] // Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Jenergetika [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Energy], 2008. – №3. – P. 86-91. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.017

АФФЕКТИВНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Научная статья

Череповская Е.Н.[1, *], Лямин А.В.[2]
[1] ORCID: 0000-0003-1836-0453;
[2] ORCID: 0000-0002-7387-0694;
[1, 2] Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

* Корреспондирующий автор (cherepovskaya[at]itmo.ru)

Аннотация

Нацеленность современного образования на предоставление качественного контента в дистанционном формате привело к стремительному развитию технологий и систем онлайн-обучения. Использование различных форм подачи обучающих материалов, а также методов и форм оценивания полученных знаний и навыков повлекло за собой необходимость идентификации личности обучающегося, проходящего аттестацию, анализа его навыков, а также отслеживания его функционального состояния во время аттестаций с тем, чтобы в нужное время иметь возможность снизить или повысить нагрузку. В данной статье рассматриваются методы, нацеленные на решение указанных проблем посредством регистрации и анализа движения глаз и траектории взгляда, описываются результаты проведенных экспериментальных исследований работы разработанных методов.

Ключевые слова: движения глаз, траектория взгляда, биометрическая идентификация, анализ навыков обучающихся, анализ функционального состояния.

AFFECTIVE COMPUTING IN EDUCATIONAL TECHNOLOGY SYSTEMS

Research article

Cherepovskaya E.N.[1, *], Lyamin A.V.[2]
[1] ORCID: 0000-0003-1836-0453;
[2] ORCID: 0000-0002-7387-0694;
[1, 2] ITMO University, Saint Petersburg, Russia

* Corresponding author (cherepovskaya[at]itmo.ru)

Abstract

The focus of modern education on providing high-quality content in a remote format has led to the rapid development of online learning technologies and systems. The use of various forms of presentation of training material as well as methods and forms of evaluating the acquired knowledge and skills has also led to the need in confirming the identity of the student participating in the tests, analyzing their skills, as well as tracking their functional state during tests in order to have the ability to timely reduce or increase their workload. The article discusses methods aimed at solving these problems by registering and analyzing eye movement and gaze trajectory and describes the results of experimental studies of the developed methods.

Keywords: eye movements, gaze trajectory, biometric identification, student skills analysis, functional state analysis.

Введение

Образовательным организациям необходимо обеспечивать формирование у обучающихся не только знаний, но и навыков, что становится невозможным без применения информационных технологий и, в частности, систем электронного обучения и образовательных онлайн-платформ [1]. Они позволяют обучающимся получить доступ к различным учебно-методическим материалам, размещаемым в системах в форме онлайн-курсов, сформировать необходимые умения и навыки путем прохождения обучающих тестов, тренажеров, упражнений и виртуальных лабораторий и осуществить контроль полученных знаний, умений и навыков с помощью аттестующих мероприятий. Многие онлайн-курсы по результатам прохождения обеспечивают выдачу студентам электронных сертификатов, подтверждающих полученные знания и навыки обучающихся. Другие же онлайн-курсы нацелены на организацию адаптивной подачи контента в соответствии с текущим уровнем каждого конкретного обучающегося. Эти задачи поднимают проблемы необходимости идентификации личности и навыков обучающихся, работающих с материалом на онлайн-платформах, и определение их функционального состояния при просмотре определенных материалов или прохождении конкретных испытаний.

Аффективные вычисления представляют собой научную область, нацеленную на исследования и разработку методов, алгоритмов, систем и устройств регистрации, обработки, анализа и интерпретации биометрических сигналов, а также человеческих чувств и эмоций. В частности, к анализируемым биометрическим сигналам относятся траектория взгляда [2], [3], сигналы электрической активности сердца [4] и мозга [5], походка [6] и др. Внедрение методов и средств анализа биометрических данных для аффективных вычислений в системы электронного обучения позволит создать современную автоматизированную обучающуюся среду, комфортную для каждого конкретного обучающегося. Методы анализа данных с использованием аффективных вычислений позволяют организовать надежные процедуры обеспечения идентификации личности, навыков обучающихся и анализа их функционального состояния.

Биометрические методы идентификации не требуют от человека запоминания большого объема дополнительных данных (паролей, ключей и т.д.), необходимых для авторизации в системе, что снижает когнитивную нагрузку на человека в процессе взаимодействия с информационными системами. Для проведения биометрической идентификации личности в рамках проводимых в мире исследований используются различные типы биометрических сигналов, в том числе траектория взгляда [7], [8], [9], [10] электрическая активность мозга [5] или сердца [11], [14], электронный почерк [12], подпись [13], походка [6] и др. Движения глаз и траектория взгляда являются одним из наиболее значимых типов

сигналов ввиду того, что содержат в себе несколько видов информации одновременно, в том числе информацию о личности человека, информацию о результатах его обучения, а также информацию о его функциональном состоянии.

Было проведено множество исследований биометрической идентификации на основе данных траектории взгляда. Одним из таких исследований является работа финских авторов [8] по изучению влияния различных параметров движения глаз на результаты биометрической идентификации. В работе анализировались данные саккад, результат ошибочно идентифицированных записей для различных вычислительных экспериментов составил от 10% до 20% соответственно.

Анализ траектории взгляда и движения глаз также могут быть использованы для верификации результатов обучения. В одном из таких исследований [2] авторы изучали возможность использования характеристик движения глаз и траектории взгляда в целях анализа результатов обучения студентов первых курсов бакалавриата при выполнении ими компьютерных заданий по физике. В качестве основных рассматриваемых характеристик авторами были выбраны средняя длительность фиксаций, средняя дистанция саккад и количество возвращений к ранее прочитанному материалу при работе с текстом. Анализ данных показал ошибку определения результатов в 30-35% в зависимости от характеристик теста, проходимого испытуемыми.

Одним из основных сигналов, с помощью которого можно однозначно определить функциональное состояние человека, является электрическая активность сердца. В этих целях используется метод анализа вариабельности сердечного ритма (Heart Rate Variability, HRV) [4], [14]. Однако, характеристики глаз, в частности расширение зрачков, также могут быть использованы для определения функционального состояния. В качестве примера можно привести работу [15], где в рамках проводимого эксперимента испытуемым ежедневно представлялись различные тексты в аудио-формате. В рамках эксперимента приняли участие 24 человека, данные были зарегистрированы с помощью айтрекера с частотой дискретизации данных 50 Гц. В результате проведенных экспериментов была обнаружена корреляция изменений диаметра зрачка с напряженностью при восприятии материалов.

Научными результатами представленного в статье исследования являются методы биометрической идентификации, верификации результатов обучения и анализа функционального состояния в системах электронного обучения на основе данных траектории взгляда и движений глаз. Научная новизна разработанных методов заключается в обосновании возможности использования низкочастотных устройств для регистрации траектории взгляда и движений глаз в целях проведения идентификации личности, верификации результатов обучения и анализа функционального состояния обучающегося. Это позволяет обеспечить возможность повсеместного использования представленных методов в современных информационных системах.

Биометрическая идентификация

Траектория взгляда представляет собой почти периодический сигнал, где в качестве повторяющихся фрагментов можно выделить саккады (см. рисунок 1). Саккады, в отличие от фиксаций, характеризуют быстрые перемещения взгляда между двумя точками фиксаций и содержат уникальную информацию о личности человека, что может быть использовано в целях биометрической идентификации.

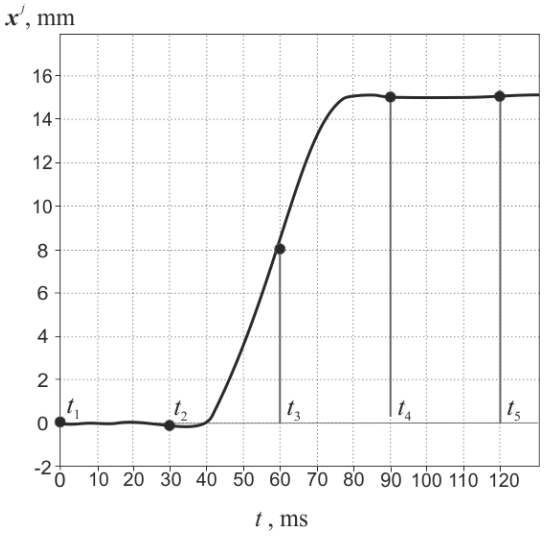


Рис. 1 – Анализируемый фрагмент траектории взгляда (саккада)

Айтрекер, использующийся для регистрации непрерывной траектории взгляда, фиксирует сигнал с определенной частотой дискретизации. Для восстановления изначального сигнала можно использовать его аппроксимацию с помощью ряда Тейлора с помощью производных функции.

$$g(t+\Delta t) = g(t) + \frac{(g(t))^{(1)}}{1!}\Delta t + \frac{(g(t))^{(2)}}{2!}(\Delta t)^2 + \frac{(g(t))^{(m)}}{m!}(\Delta t)^m + \ldots \quad (1)$$

В этом случае коэффициенты ряда Тейлора будут содержать наиболее подробную информацию об изначальном сигнале, что позволяет использовать эти коэффициенты в качестве основных рассматриваемых характеристик для обеспечения биометрической идентификации. Однако ввиду того, что сигнал зафиксирован в дискретном виде, коэффициенты ряда Тейлора представляются в разработанном методе в виде конечных разностей. Список рассчитанных

характеристик для выделенных фрагментов некоторого сигнала можно представить в следующем виде:

$$\xi_r = \{\xi_{r,1}, \xi_{r,2}, \ldots, \xi_{r,l}\} \quad (2)$$

где r – идентификатор сигнала, l – количество рассчитанных характеристик для фрагмента.

По окончании расчета характеристик фрагментов применяется тест Колмогорова-Смирнова для определения соответствия функций распределения каждой из характеристик между рассматриваемым сигналом и сигналом, зарегистрированным в базе данных. На выходе теста Колмогорова-Смирнова, проведенного для каждой из характеристик, получаем матрицы вероятностей соответствия эмпирических функций распределения для характеристики рассматриваемого сигнала и сигнала из базы данных по каждой из характеристик. Функции распределения в данном случае определяются выборками, сформированными для каждой отдельной характеристики для выделенных фрагментов сигналов.

Схема разработанного метода распознавания сигналов представлена на рисунке 2. В ходе разработки метода было решено сформулировать два алгоритма – попарного сравнения и объединенных данных – с целью сравнения результатов их работы по итогам экспериментальных исследований.

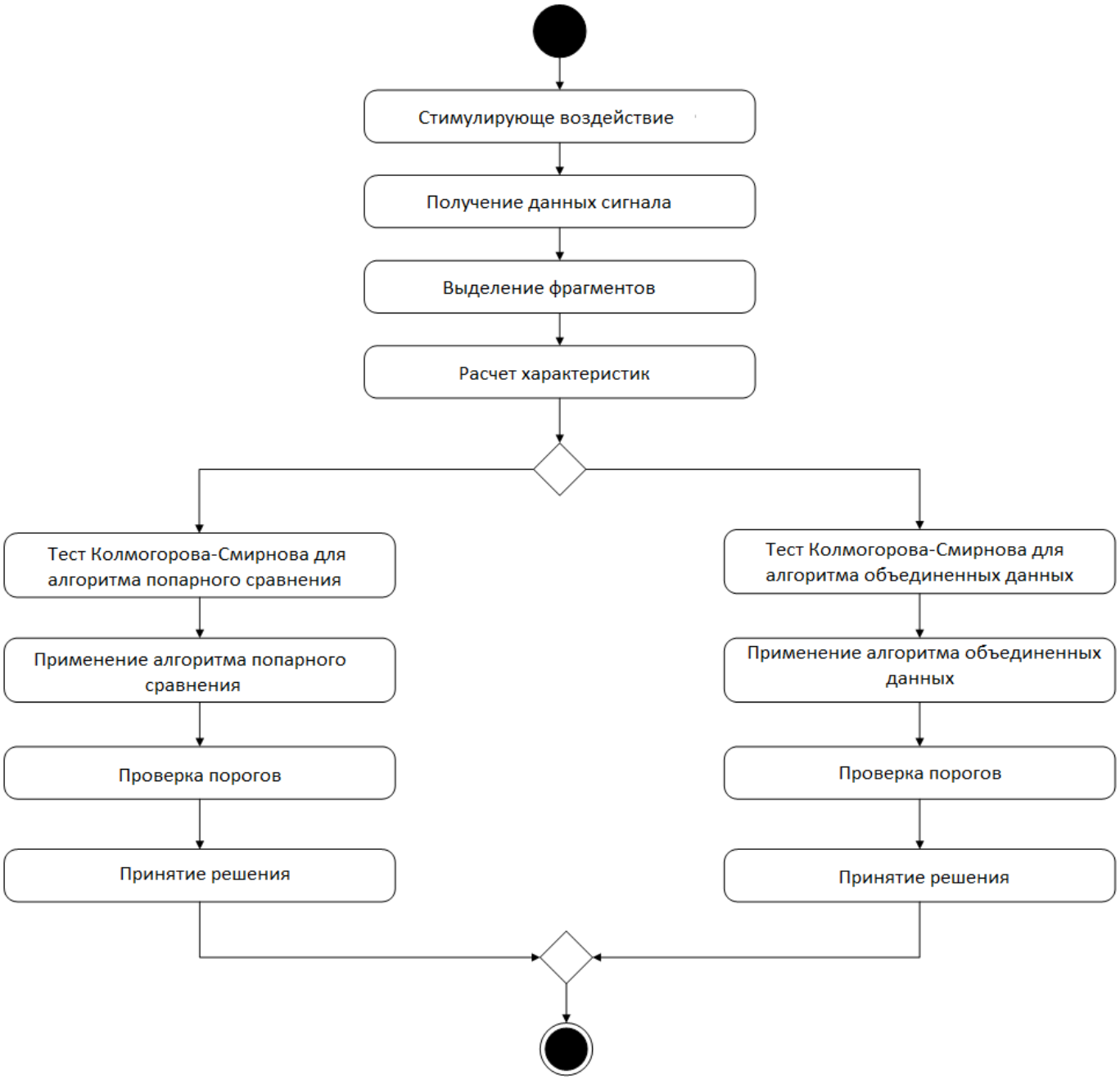


Рис. 2 – Метод анализа траектории взгляда для биометрической идентификации

Алгоритм попарного сравнения базируется на расчете дистанций между записями на основе вероятностей теста Колмогорова-Смирнова для каждой пары записей. Изначально необходимо рассчитать дистанцию между двумя записями по каждой отдельной характеристике:

$$d(\xi_{r,i},\xi_{q,i}) = -\ln\left(p\left(\mathrm{K} \geq \sqrt{\frac{n_r n_q}{n_r + n_q}} D^i_{r,q} \right)\right) \tag{1}$$

где K –переменная, имеющая распределение Колмогорова, n_r и n_q – объемы выборок для сигналов r (рассматриваемый сигнал) и q (сигнал, хранящийся в базе данных) соответственно, $\xi_{r,i}$ и $\xi_{q,i}$ – i-тая характеристика сигналов r и q, и $D^i_{r,q} = \sup_{\xi}\left|F^i_{r,n_r}(\xi) - F^i_{q,n_q}(\xi)\right|$ – значение статистики теста Колмогорова-Смирнова для i-той характеристики сигналов r и q, $F^i_{r,n_r}(\xi)$ и $F^i_{q,n_q}(\xi)$ – эмпирические функции распределения i-той характеристики сигналов r и q.

Используя значения дистанции по характеристикам между сигналами, следует вычислить итоговые дистанции между сигналами по следующей формуле:

$$d(\xi_r,\xi_q) = \sum_{i=1}^{l} d(\xi_{r,i},\xi_{q,i}) \tag{4}$$

где l – общее количество рассчитанных характеристик.

Также мы можем определить формулу расчета дистанции от рассматриваемого сигнала до некоторого класса сигналов, хранящихся в базе данных:

$$d(\xi_r, C_s) = \min_{q\in C_s}[d(\xi_r,\xi_q)] \tag{5}$$

где C_s – класс сигналов, находящийся в базе данных.

Для минимизации погрешности, метод предусматривает расчет порогов для классов сигналов, хранящихся в базе данных, и исключение из рассмотрения тех классов, дистанция до записей которых от сигнала не проходит установленные пороги. Для алгоритма попарного сравнения пороги для классов рассчитываются следующим образом:

$$d^*_s = \max_{r\in C_s}[d(\xi_r, C_s \setminus \{r\})] \tag{6}$$

где d^*_s – порог для класса C_s, $d(\xi_r, C_s \setminus \{r\})$ – дистанция от сигнала r до класса C_s.

После того, как лишние классы были исключены из рассмотрения, запускается алгоритм определения ближайшего класса по некоторому предустановленному количеству k>0 ближайших записей. Выходом алгоритма является класс, для которого было набрано необходимое количество ближайших записей.

Основным отличием алгоритма объединенных данных от алгоритма попарного сравнения является формат данных, для которых осуществляется запуск теста Колмогорова-Смирнова. Если для алгоритма попарного сравнения используются данные отдельных записей, сгруппированные по характеристикам, то в алгоритме объединенных данных характеристики класса из базы данных строятся на основе всех записей класса, объединенных в единую структуру по формуле:

$$\bigcup_{r\in C_s} \xi_{r,j},\ j = 1,2,\ldots,l \tag{7}$$

Другим важным отличием алгоритмов является формула расчета дистанции от текущего рассматриваемого сигнала до класса. Алгоритм объединенных данных основан на теореме Байеса:

$$p(C_s \mid \xi_r) = \frac{p(C_s)\times p(\xi_r \mid C_s)}{p(\xi_r)} = \frac{p(C_s)}{p(\xi_r)}\prod_{j=1}^{l} p(\xi_{r,j} \mid C_s), \tag{8}$$

Таким образом, формула расчета дистанции от записи до класса представляется как:

$$d(\xi_r, C_s) = -\left(\ln\left(\frac{p(C_s)}{p(\xi_r)}\right) + \sum_{j=1}^{l} \ln\left(p(\xi_{r,j} \mid C_s)\right)\right) \tag{9}$$

Одним из завершающих шагов алгоритма является расчет порогов для классов базы данных, который производится аналогично алгоритму попарного сравнения. Итоговый класс для рассматриваемого сигнала определяется как ближайший класс, на основе рассчитанных значений дистанций и классов, успешно прошедших проверку порогов.

Верификация результатов обучения

Для верификации результатов обучения человека, в отличие, от идентификации его личности, в первую очередь необходимо анализировать фиксации взгляда. Фиксации позволяют наиболее точно определить область, к которой было приковано внимание человека при изучении им обучающих материалов и прохождении аттестующих мероприятий.

В качестве основных анализируемых характеристик были выделены частота фиксаций взгляда на области, частота отдельных типов переходов между областями, длительность переходов и распределение времени фиксации взгляда по областям.

Разработанный метод предполагает сведение задачи верификации результатов обучения к задаче классификации при наличии в базе данных системы онлайн-обучения эталонных сведений для различных классов, характеризующих уровни навыков обучающихся (например: новичок, средний, эксперт). Аналогично описанному в предыдущем разделе методу биометрической идентификации, для рассчитанных наборов характеристик вычисляются вероятности двухвыборочного теста Колмогорова-Смирнова для осуществления сравнения эмпирических функций распределения классифицируемых величин. Для верификации результатов обучения используется алгоритм попарного сравнения.

Анализ функционального состояния

В качестве основных параметров функционального состояния при анализе движений глаз в рамках разработанного метода выступают расширения диаметров зрачков или же абсолютные их значения. При рассмотрении абсолютных значений диаметров зрачков формируется последовательность значений диаметров зрачков, которая выступает в качестве характеристик индекса централизации и индекса напряжения. При рассмотрении значений расширений диаметра метод предполагает осуществление спектрального анализа полученных расстояний по аналогии с методом вариабельности сердечного ритма. Последовательность изменений (расширений) диаметра зрачка рассчитывается по следующей формуле:

$$DD_i = D_i - D_{i-1} \Big| \; D_i - D_{i-1} > 0 \tag{10}$$

где D_i – значение диаметра зрачка для i-го отсчета времени.

Расчет показателей спектрального анализа проводится в ультранизкочастотном (ULF), сверхнизкочастотном (VLF), низкочастотном (LF) и высокочастотном (HF) диапазонах. Спектр данного сигнала содержит большие амплитуды колебаний даже на небольшой частоте, вследствие чего были определены следующие граница частотных диапазонов для расчета необходимых индексов:

bands = [0, 0.11; // ULF
 0.11, 0.165; // VLF
 0.165, 0.225; // LF
 0.225, 1]; // HF

Показатели определяются как суммы мощностей, попавших в заданный частотный интервал. После определения значений каждого показателя становится возможным рассчитать индекс централизации (IC) и индекс напряжения (SI):

$$IC = \frac{HF + LF}{VLF} \tag{11}$$

где *HF, LF, VLF* – показатели спектрального анализа в высокочастотном, низкочастотном и сверхнизкочастотном диапазонах соответственно.

$$SI = \frac{100 \times AMo}{2 \times Mo \times MxDMn} \tag{12}$$

где *Mo, AMo* и *MxDMn* – мода, амплитуда моды и вариационный размах соответственно.

Результаты экспериментальных исследований

В рамках проведения экспериментальных исследований регистрация траектории взгляда была осуществлена с использованием низкочастотного айтрекера, имеющего частоту дискретизации данных 30 Гц. Для получения и сохранения данных с айтрекера было разработано специальное программное обеспечение на языке Python. Полученные данные в дальнейшем обрабатывались в системе MATLAB, для которого был разработан соответствующий набор классов и функций, реализующий описанные в статье алгоритмы. Ввиду низкой частоты использованного устройства каждый анализируемый фрагмент сигнала состоял из пяти точек, при аппроксимации которого итоговое количество рассматриваемых характеристик, представленных конечными разностями, было равно десяти. Траектория взгляда не является линейным сигналом и может менять свое положение в плоскости при возникновении регрессий взгляда и т.п. Для обеспечения корректного расчета всех характеристик было решено представить каждую саккаду взгляда в собственной системе координат, повернутой относительно исходной плоскости.

В рамках эксперимента обучающимся было предложено пройти тест переплетенных линий, чтобы получить наиболее полные и объемные данные саккад взгляда во время отслеживания линий обучающимися. Общее количество участников эксперимента составило 45 человек, по итогам отбора данных которых удалось сформировать 27 классов, содержащих по 10 записей в каждом классе.

Для двух алгоритмов метода были рассчитаны значения равной ошибки (Equal Error Rate, EER), при которой значения ошибок ложных принятий (FAR) и ошибок ложных отказов (FRR) равны. В ходе тестирования работы методов

из каждого класса поочередно изымались записи для тестирования, в то время как оставшиеся 9 записей формировали сам класс. По результатам анализа данного типа сигналов для алгоритма попарного сравнения ошибка распознавания составила 15,44%, а для алгоритма объединенных данных ошибка распознавания составила 16,18%.

Эксперимент, нацеленный на проверку работоспособности методов верификации результатов обучения, был проведен при участии 50 студентов Университета ИТМО. В качестве основного стимула был разработан когнитивный тренинг «Тетрис» с правилами, аналогичными одноименной компьютерной игре. Программное обеспечение когнитивного тренинга обеспечивало фиксацию всех необходимых данных о ходе взаимодействия обучающегося с интерфейсом тренинга и интеграцию с системой сбора данных о траектории взгляда. Интерфейс данного тренинга является динамическим, что накладывает дополнительные ограничения на итоговую интерпретацию полученных данных и методы их анализа.

По результатам полученных данных часть записей участников экспериментов была отсеяна ввиду их слишком короткой длительности. Для тренинга были выделены 10 областей интереса (AOI), 2 из которых являлись динамическими (падающая фигура и заполняющаяся внизу область) и одна представляла собой неидентифицируемую область (выход траектории взгляда за пределы границ когнитивного тренинга), остальные области были статическими (просмотр количества набранных очков, текущий уровень игры, область отображения следующих фигур, включающая три области каждой из следующих фигур, общее пространство с динамическими областями).

В качестве основных анализируемых переходов были выделены переходы между отдельными областями, группы переходов между двумя областями и связи между группами, группы переходов между тремя областями и связи между группами. Для указанных вариантов были рассчитаны частота фиксаций взгляда на области и частота конкретного типа переходов, длительность перехода (время от начала фиксации на первой области перехода до выхода за пределы второй/третьей области перехода) и распределение времени фиксации взгляда по областям. По результатам анализа для всех трех вариантов переходов между областями были получены минимальные результаты для параметра распределения времени фиксации взгляда, для которого ошибка верификации (EER) составила 20%. Остальные параметры показали результаты в 32-48% в зависимости от комбинации параметров.

Сбор данных для организации исследования методов анализа функционального состояния был проведен в ходе эксперимента с когнитивным тренингом «Тетрис». Во время проведения эксперимента аналогично данным траектории взгляда были получены данные о размере диаметра зрачков, который может быть использован для анализа функционального состояния. Также для каждого участника в процессе проведения эксперимента были собраны данные электрокардиограммы как основного сигнала, для которого имеется многолетнее подтверждение практики его использования в оценке функционального состояния.

Анализ вариабельности сердечного ритма основан на спектральном анализе RR-интервалов между R-пиками QRS-комплексов кардиосигнала. Использование алгоритма Пан-Томпкинса [16], основанного на частотном анализе кардиосигнала, позволяет определить QRS-комплексы и индексы R-пиков. Для полученного массива R-пиков рассчитываются RR-интервалы как расстояние в миллисекундах между соседними R-пиками. Далее для полученных значений в соответствии с [4] были рассчитаны индекс централизации и индекс напряжения.

Далее были рассчитаны показатели для полученных значений диаметров зрачков. С целью расчета индекса централизации и индекса напряжения для последовательности расширений зрачка был применен метод быстрого преобразования Фурье. В отличие от анализа кардиоинтервалограммы для исследования расширений зрачков было необходимо скорректировать частотные диапазоны в силу более высокой частоты сигнала. По результатам проведенного анализа был рассчитан коэффициент корреляции между значениями индексов, полученными для кардиоинтервалограммы и последовательностей диаметров зрачков и расширений диаметра зрачков. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты анализа функционального состояния

	Последовательность расширений зрачков	Последовательность диаметров зрачков
Индекс централизации	0,37	0,42
Индекс напряжения	0,36	0,43

Результаты показали, что в качестве индикатора функционального состояния могут быть использованы как значения расширений зрачков, характеризующие мозговую активность обучающихся, так и диаметры, значения которых в большей мере описывают общий уровень напряжения человека.

Заключение

Траектория взгляда и параметры движений глаз являются одним из наиболее богатых сигналов, позволяющих как обеспечить идентификацию личности человека, так и верифицировать его результаты обучения и определять функциональное состояние. Применение описанных в статье методов позволит построить удобную и комфортную информационную среду для обучающихся, в то же время обеспечив подтверждение получаемых ими результатов. Разработанные методы рассчитаны на использование в том числе и при регистрации данных с помощью низкочастотных устройств, что обеспечивает возможность их широкого применения в современных информационных системах.

Финансирование

Грант российского научного фонда № 20-78-10135.

Funding

This work was supported by the Russian Science Foundation, grant no. 20-78-10135.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Лямин А.В. Развитие электронного обучения, дистанционных образовательных технологий в НИУ ИТМО / А.В. Лямин, М.С. Чежин // Информационная среда вуза XXI века: материалы VII Международной научно-практической конференции. – С. 145-148. – 2013.

2. Chen S.C. Eye movements predict students' computer-based assessment performance of physics concepts in different presentation modalities / S.C. Chen, H.C. She, M.H. Chuang et al. // Computers & Education. – Vol. 74. – P. 61-72. – 2014.

3. Lyamin A.V. An Approach to Biometric Identification by Using Low-Frequency Eye Tracker / A.V. Lyamin, E.N. Cherepovskaya // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – Vol. 12. – № 4. – P. 881-891. – 2017.

4. Баевский Р. М. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов, Л. В. Чирейкин и др. // Вестник аритмологии. – №24. – С. 65 – 2002.

5. Koike-Akino T. High-accuracy user identification using EEG biometrics / T. Koike-Akino et al. // 2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). – P. 854-858. – 2016.

6. Shinzaki M. Gait-based person identification method using shadow biometrics for robustness to changes in the walking direction / M. Shinzaki, Y. Iwashita, R. Kurazume et al. // 2015 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision. – P. 670-677. – 2015.

7. Cherepovskaya E.N. A Unified Pattern Recognition Approach for Low-Frequency Biometric Signals / E.N. Cherepovskaya, A.V. Lyamin // Proceedings of 2017 Intelligent Systems Conference (IntelliSys). – P. 843-848. – 2017.

8. Zhang Y. On Biometrics With Eye Movements / Y. Zhang, M. Juhola // IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics. – Vol. 21. – № 5. – P. 1360-1366. – 2017.

9. Holland C.D. Complex eye movement pattern biometrics: Analyzing fixations and saccades / C.D. Holland, O.V. Komogortsev // 2013 International Conference on Biometrics (ICB). – P. 1-8. – 2013.

10. Лямин А.В. Экспериментальные исследования биометрической идентификации пользователей на основе данных айтрекера Tobii X2-30 / А.В. Лямин, Е.Н. Череповская // Информационно-управляющие системы – 2015. – № 5(78). – С. 26-33.

11. Lyamin A.V. An Evaluation of Biometric Identification Approach on Low-Frequency ECG Signal / A.V. Lyamin, E.N. Cherepovskaya // Proceedings of the IEEE 15th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI 2017). – P. 137-142. – 2017.

12. Corpus K.R. Mobile User Identification through Authentication Using Keystroke Dynamics and Accelerometer Biometrics / K.R. Corpus, R.J.D.L. Gonzales, A.S. Morada et al. // 2016 IEEE/ACM International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft). – P. 11-12. – 2016.

13. Deore M.R. A survey on offline signature recognition and verification schemes / M.R. Deore, S.M. Handore // Proc. 2015 International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC). – P.165-169. – 2015.

14. Lisitsyna L. Estimation of Student Functional State in Learning Management System by Heart Rate Variability Method / L. Lisitsyna, A. Lyamin, A. Skshidlevsky // Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. – Vol. 262. – P. 726-731. – 2014.

15. Koelewijn T. The pupil response reveals increased listening effort when it is difficult to focus attention / T. Koelewijn, H. de Kluiver, B.G. Shinn-Cunningham et al. // Hearing Research. – Vol. 323. – P. 81-90. – 2015.

16. Pan J. A Real-Time QRS Detection Algorithm / J. Pan, W.J. Tompkins // IEEE Trans. Biomedical Engineering. – Vol. BME-32. – № 3. – P. 230-236. – 1985.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Lyamin A.V. Razvitie jelektronnogo obuchenija, distancionnyh obrazovatel'nyh tehnologij v NIU ITMO [The development of online learning and distant education technologies in NIU ITMO] / A.V. Lyamin, M.S. Chezhin // Informacionnaja sreda vuza XXI veka: materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – P. 145-148. – 2013. [in Russian]

2. Chen S.C. Eye movements predict students' computer-based assessment performance of physics concepts in different presentation modalities / S.C. Chen, H.C. She, M.H. Chuang et al. // Computers & Education. – Vol. 74. – P. 61-72. – 2014.

3. Lyamin A.V. An Approach to Biometric Identification by Using Low-Frequency Eye Tracker / A.V. Lyamin, E.N. Cherepovskaya // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. – Vol. 12. – № 4. – P. 881-891. – 2017.

4. Baevskij R. M. Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma pri ispol'zovanii razlichnyh jelektrokardiograficheskih system [Heart rate variability analysis with using various electrocardiographic systems] / R. M. Baevskij, G. G. Ivanov, L. V. Chirejkin et al. // Vestnik aritmologii. – №24. – P. 65 – 2002. [in Russian]

5. Koike-Akino T. High-accuracy user identification using EEG biometrics / T. Koike-Akino et al. // 2016 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). – P. 854-858. – 2016.

6. Shinzaki M. Gait-based person identification method using shadow biometrics for robustness to changes in the walking direction / M. Shinzaki, Y. Iwashita, R. Kurazume et al. // 2015 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision. – P. 670-677. – 2015.

7. Cherepovskaya E.N. A Unified Pattern Recognition Approach for Low-Frequency Biometric Signals / E.N. Cherepovskaya, A.V. Lyamin // Proceedings of 2017 Intelligent Systems Conference (IntelliSys). – P. 843-848. – 2017.

8. Zhang Y. On Biometrics With Eye Movements / Y. Zhang, M. Juhola // IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics. – Vol. 21. – № 5. – P. 1360-1366. – 2017.

9. Holland C.D. Complex eye movement pattern biometrics: Analyzing fixations and saccades / C.D. Holland, O.V. Komogortsev // 2013 International Conference on Biometrics (ICB). – P. 1-8. – 2013.

10. Lyamin A.V. Jeksperimental'nye issledovanija biometricheskoj identifikacii pol'zovatelej na osnove dannyh ajtrekera Tobii X2-30 [Experimental studies of biometric user identification based on data from the Tobii X2-30 eye tracker] / A.V. Lyamin, E.N. Cherepovskaya // Informatsionno-Upravliaiushchie Sistemy – 2015. – № 5(78). – P. 26-33. [in Russian]

11. Lyamin A.V. An Evaluation of Biometric Identification Approach on Low-Frequency ECG Signal / A.V. Lyamin, E.N. Cherepovskaya // Proceedings of the IEEE 15th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI 2017). – P. 137-142. – 2017.

12. Corpus K.R. Mobile User Identification through Authentication Using Keystroke Dynamics and Accelerometer Biometrics / K.R. Corpus, R.J.D.L. Gonzales, A.S. Morada et al. // 2016 IEEE/ACM International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft). – P. 11-12. – 2016.

13. Deore M.R. A survey on offline signature recognition and verification schemes / M.R. Deore, S.M. Handore // Proc. 2015 International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC). – P.165-169. – 2015.

14. Lisitsyna L. Estimation of Student Functional State in Learning Management System by Heart Rate Variability Method / L. Lisitsyna, A. Lyamin, A. Skshidlevsky // Frontiers in Artificial Intelligence and Applications. – Vol. 262. – P. 726-731. – 2014.

15. Koelewijn T. The pupil response reveals increased listening effort when it is difficult to focus attention / T. Koelewijn, H. de Kluiver, B.G. Shinn-Cunningham et al. // Hearing Research. – Vol. 323. – P. 81-90. – 2015.

16. Pan J. A Real-Time QRS Detection Algorithm / J. Pan, W.J. Tompkins // IEEE Trans. Biomedical Engineering. – Vol. BME-32. – № 3. – P. 230-236. – 1985.

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.018

ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙЧАТОЙ ГЕОМЕТРИИ

Научная статья

Шангина Е.И.*
ORCID: 0000-0001-5433-8400;
Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

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

Аннотация

Традиционно при проектировании откосов железнодорожных путей и автомобильных дорог используют специальные поверхности. Такие поверхности должны удовлетворять определённым инженерным и технологическим требованиям. С геометрической точки зрения эти поверхности, чаще всего, представляют собой линейчатые и цилиндрические поверхности. В статье представлен обзор поверхностей Каталана, их применение в архитектуре, показаны примеры в природе, а также разработан алгоритм конструирования линейчатых поверхностей, в частности, поверхности равнодлинного откоса и поверхности одинакового ската. Прикладное значение этих поверхностей то, что эти поверхности могут являться геометрическими моделями откосов дорог.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, откосы дорог, линейчатые поверхности, поверхности Каталана.

PRINCIPLES OF MODELING IN DESIGNING LINEAR GEOMETRY-BASED HIGHWAYS

Research article

Shangina E.I.*
ORCID: 0000-0001-5433-8400,
Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

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

Abstract

Traditionally, when designing the slopes of railway tracks and highways, special surfaces are used. Such surfaces must meet certain engineering and technological requirements. From a geometric point of view, these surfaces are most often linear and cylindrical surfaces. The current article presents an overview of Catalan surfaces, their application in architecture, demonstrates examples in nature, and also develops an algorithm for constructing ruled surfaces, in particular, the surface of an equidistant slope and the surface of the same slope. The application value of these surfaces lies in the fact that these surfaces can be geometric models of road slopes.

Keywords: geometric modeling, road slopes, ruled surfaces, Catalan surfaces.

Введение

Проектирование таких сложных технических сооружений, как железнодорожные пути, автомобильные дороги, всегда было непростым процессом, требующим всестороннего анализа самых разных параметров. В современном мире дороги должны иметь хорошие транспортно-эксплуатационные и функциональные характеристики, обеспечивать высокую безопасность движения. В этих условиях решающую роль играет выбор технологий, инструментов, а главное методов, используемых для проектирования.

При проектировании откосов железнодорожных путей и автомобильных дорог используются разные поверхности. Такие поверхности должны удовлетворять определенным инженерным требованиям. С геометрической точки зрения эти поверхности, чаще всего представляют собой линейчатые поверхности. Линейчатые поверхности образованы движением прямой (образующей) по заданному закону. Закон ее движения обычно задается тремя направляющими. Если одна из направляющих будет являться несобственной (бесконечно удаленной), а две другие действительными, такие поверхности называются поверхностями с плоскостью параллелизма. Также эти поверхности называют поверхностями Каталана [1], [2], [3]. К таким поверхностям, например, относятся поверхность равнодлинного откоса и поверхность одинакового ската. Эти поверхности уменьшают возможность снежных заносов и воздушных завихрений. Кроме поверхностей Каталана применяется также и цилиндрическая поверхность. Полотно дороги в поперечном сечении выполняется в виде дуги окружности (а не в виде прямой) с целью повышения устойчивости транспортных средств и с целью улучшения стока воды.

Современные методы проектирования дорог

В настоящее время железнодорожные пути и автомобильные дороги проектируются с помощью систем автоматизированного проектирования (CAD/CAM/CAE). Автоматизированное проектирование позволяет разработать и выпустить проектную документацию. Процесс проектирования можно разбить на следующие основные этапы:

1) разработка цифровой модели рельефа (ЦМР);
2) определение трассы дороги в плане и профиле;
3) трехмерное моделирование дороги;
4) расчет объемов работ и создание проектно-сметной документации.

Рассмотрим первые три этапа проектирования дорог. Цифровая модель рельефа получается на основе точных данных о местности. Цифровая модель рельефа — это математическое представление участка земной поверхности, полученное путем обработки материалов топографической съемки. Наиболее используемыми методиками получения высотных отметок являются топографическая съёмка местности, радарная съёмка. Цифровая модель позволяет не просто посмотреть положение одного объекта относительно другого, но и уточнить структуру исследуемого объекта, а

также просчитать объект. Традиционно для получения цифровой модели рельефа предварительно необходимо было проводить геодезическую съемку, которая включала в себя работу огромного количества специалистов, приборов и др. Эта ситуация усугублялась в условиях замеров крупных территорий. За счет этого процедура была не только дорогостоящей, но и отнимала много времени, замедляя общий ход работ. Сегодня для сбора информации используются беспилотники – квадрокоптеры.

Алгоритм моделирования цифровой модели рельефа заключается в следующем (рис. 1). Во-первых, необходимо подобрать беспилотник, составить карту полетов в зависимости от величины территории и структуры объекта. Во-вторых, расставляется необходимое количество опорных точек. Затем квадрокоптер пролетает по заранее построенному маршруту и считывает координаты опорных точек. В-третьих, все полученные материалы передаются специалистам, которые разрабатывают на их основе цифровую модель рельефа. Цифровая модель рельефа конструируется с использованием профессионального программного обеспечения. Этот метод позволяет в разы ускорить подготовку и проведения съемки и получить достаточные данные для построения цифровой модели рельефа [4].

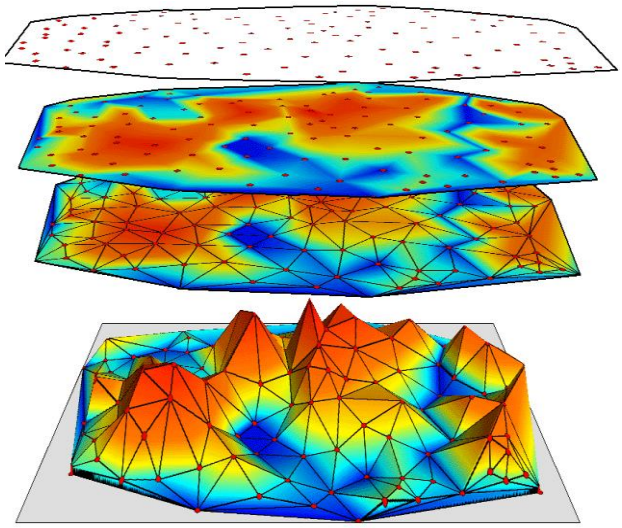


Рис. 1 – Алгоритм моделирования цифровой модели рельефа

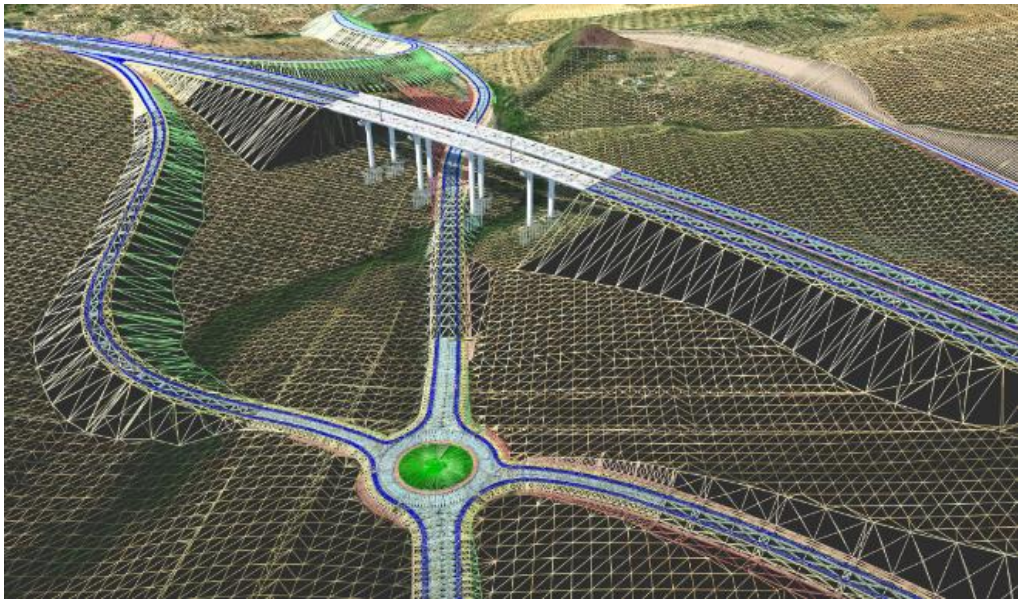


Рис. 2 – Цифровая модель рельефа и трехмерная модель дороги

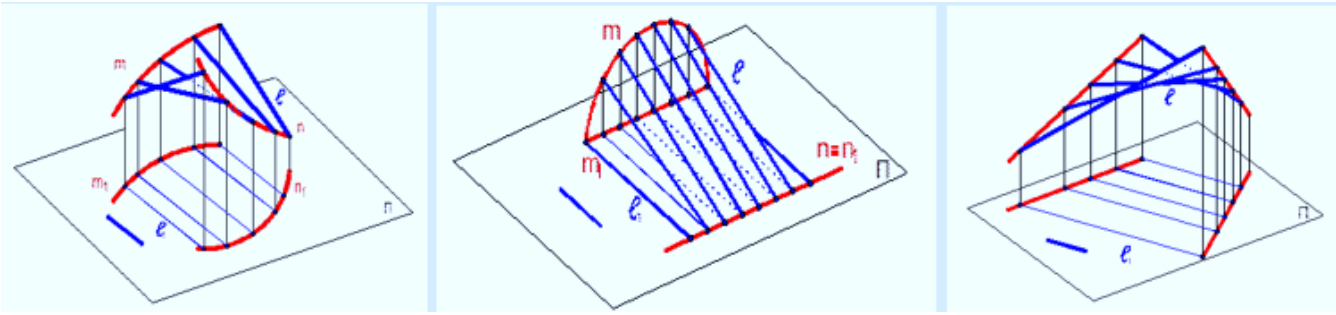
Трехмерное моделирование трассы дороги определяет ее протяженность, размещение дорожных сооружений и капитальных объектов, стоимость выполнения строительных работ, функциональные особенности движения транспорта и др. (рис. 2). Возможности автоматизированного проектирования позволяют оперативно и качественно проработать множество вариантов моделей будущей трассы. Кроме этого, положение трассы конструируется с учетом рельефа местности. По данным топографической съемки рельефа и на базе анализа геологических, гидрологических и метеорологических критериев моделируется ось будущей дороги.

Трехмерное моделирование дороги начинается с определения типовых поперечных профилей (конструкций). Конструкции собираются из элементов, присоединяемых к базовой линии трассы. Базовая линия трассы в поперечном профиле конструируется в виде дуги окружности (а не в виде прямой) с целью повышения устойчивости транспортных средств и с целью улучшения стока воды. Затем к базовой линии трассы присоединяются откосы, которые представляют собой сложные линейчатые поверхности. Откосы должны обладать некоторыми технологическими характеристиками. Например, с целью плавного сопряжения рельефа и откоса на участках насыпи или выемки дороги должна быть постоянная длина или одинаковый уклон. Рассмотрим моделирование таких поверхностей.

Геометрические методы проектирования откосов дорог

При формировании линейчатой поверхности с помощью плоскости параллелизма образующие должны быть параллельны этой плоскости. Поэтому эти образующие пересекаются с ней в несобственных точках, множество которых определяет несобственную прямую. Эту прямую следует рассматривать как третью направляющую линейчатой поверхности. Другими словами, плоскость параллелизма является собственным представителем несобственной прямой. Такие линейчатые поверхности с плоскостью параллелизма называются поверхностями Каталана [5].

Образование поверхности Каталана является частным случаем общего способа формирования линейчатой поверхности с двумя направляющими. К поверхностям Каталана относятся следующие поверхности (рис. 3): цилиндроид, коноид, гиперболический параболоид (косая плоскость) [6].



a *b* *c*

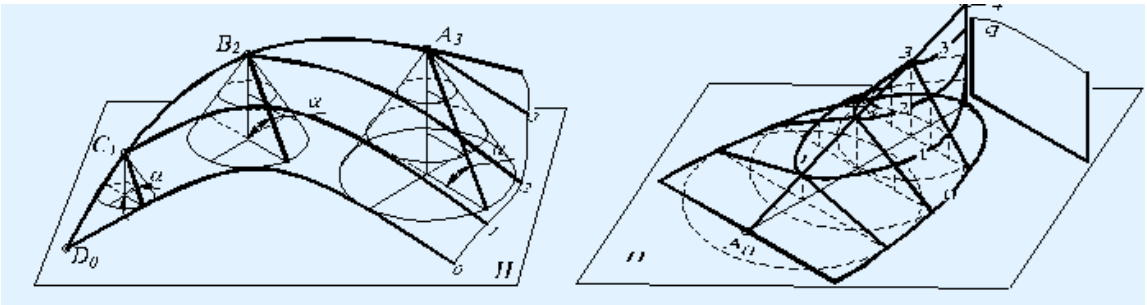
Рис. 3 – Поверхности Каталана:
a – цилиндроид; *b* – коноид; *c* – гиперболический параболоид (косая плоскость)

Поверхности Каталана широко используются в архитектуре и встречаются в природе (рис. 4). В данной статье нами исследуются поверхность одинакового ската и поверхность равнодлинного откоса. Эти поверхности относятся к линейчатым поверхностям (Каталана) (рис. 5).

Рис. 4 – Примеры поверхностей Каталана в архитектуре и природе

Поверхность одинакового ската представляет собой в пространстве огибающую множество прямых круговых конусов, вершины которых лежат на пространственной кривой.

Поверхность одинакового ската – линейчатая поверхность. Все образующие этой поверхности составляют с горизонтальной плоскостью проекций ***H*** одинаковый угол α, равный углу наклона образующих конуса. Частным случаем этой поверхности является эвольвентная поверхность. Для построения горизонталей поверхности одинакового ската необходимо иметь проекцию кривой линии и угол наклона поверхности (образующих конуса) α к горизонту.



а *б*

Рис. 5 – Линейчатые поверхности (поверхности Каталана):
а - поверхность одинакового ската; *б* - поверхность равнодлинного откоса

Поверхность равнодлинного откоса является линейчатой поверхностью. Образующая этой поверхности (отрезок прямой постоянной длины) перемещается в пространстве так, что его один конец скользит по направляющей (пространственной кривой/прямой линии). Другой конец образующей перемещается по заданной поверхности/плоскости, причём горизонтальная проекция образующей всегда перпендикулярна горизонтальной проекции направляющей.

Частным случаем поверхности равнодлинного откоса является такая поверхность, образующая которой (отрезок постоянной длины) одним концом скользит по прямой, а другим концом скользит по горизонтальной плоскости. В этом случае эта поверхность конструируется в виде поверхности, которая соприкасается с однопараметрическим множеством прямых круговых конусов с вертикальной осью. Вершины этих конусов лежат на направляющей (прямой), а основания – на заданной плоскости. На практике такая поверхность заменяется поверхностью, образующие которой на горизонтальной проекции перпендикулярны горизонтальной проекции направляющей (по определению). Длины образующих этих конусов, заключённых между вершинами и основаниями, равны. Однако угол наклона образующей конуса к горизонтальной плоскости проекций меняется при движении конуса вдоль направляющей.

Поверхность равнодлинного откоса такого вида конструируется следующим образом. Направляющая - отрезок прямой; образующая – отрезок прямой постоянной длины. Горизонтальные проекции образующей и направляющей перпендикулярны. Другими словами, все горизонтальные проекции образующих будут параллельны между собой, а, следовательно, параллельны плоскости параллелизма ***q*** (рис. 5, б). Образующая поверхности одним концом скользит по направляющей, другим – по горизонтальной плоскости. В результате движения образующей по горизонтальной плоскости, в пересечении получается плоская кривая, которую можно рассматривать, в данном случае как направляющую. Тогда поверхность равнодлинного откоса можно является частью коноида [7], [8]. Рассмотрим алгоритм построения этой поверхности в AutoCAD Civil 3D. Данная программа предназначена для автоматизации проектирования различных земельных сооружений, которой пользуются геодезисты, специалисты по землеустройству, проектировщики генпланов и сооружений, позволяющая динамически обновлять все связанные объекты при внесении изменений в результаты изысканий или проектные решения. Предлагаемый алгоритм может быть впоследствии заложен в эту программу.

Определителем поверхности равнодлинного откоса (части коноида) является:

1) направляющая – отрезок прямой ***AB***; образующая – отрезок прямой постоянной длины. Горизонтальные проекции образующей и направляющей перпендикулярны;

2) образующая поверхности (отрезок) одним концом скользит по направляющей, другим по горизонтальной плоскости ***H=xOy***.

В общем случае, поверхность равнодлинного откоса можно конструировать поверхностью, которая соприкасается с однопараметрическим множеством прямых круговых конусов с вертикальной осью (вершины этих конусов лежат на направляющей (прямой) ***AB***, а основания на горизонтальной плоскости ***H***). Тогда образующую конуса можно рассматривать как постоянную образующую поверхности равнодлинного откоса (части коноида).

Образующая поверхности определяется прямой, проходящей через точку ***E***, пересекающей две скрещивающиеся прямые ***AB*** и ***CD*** (точки ***A, B, C, D, E*** задаются координатами ***x, y, z***), рис.6.

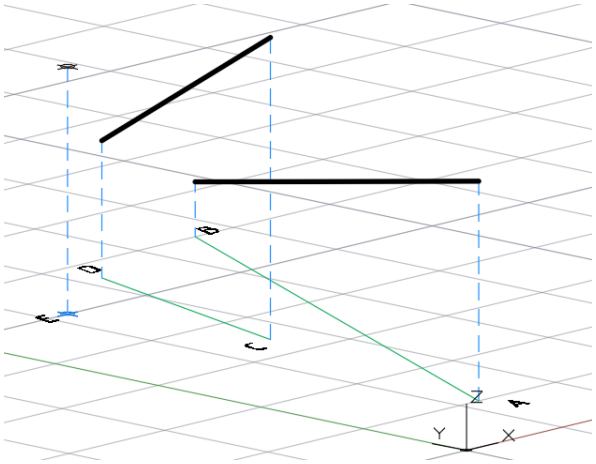


Рис. 6 – Данные для определения образующей поверхности равнодлинного откоса

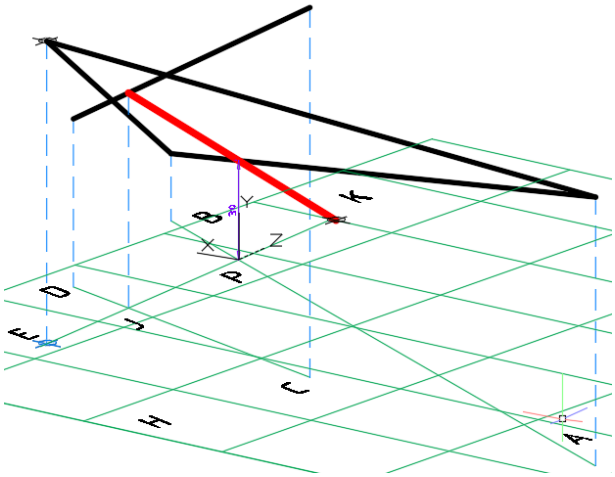


Рис. 7 – Определение образующей поверхности равнодлинного откоса

Известно, что через точку ***E*** и две скрещивающиеся прямые ***AB*** и ***CD*** проходит единственная прямая ***EP***, определяемая пересечением прямой ***CD*** с плоскостью пучка прямых (точка ***J***). Пучок прямых задаётся точкой ***E*** и прямой ***AB*** (рис.7). Построив прямую ***EP***, находят образующую поверхности равнодлинного откоса ***PK***. Точка ***K*** – точка пересечения прямой ***EP*** с плоскостью ***H***, т.е. определяют координату ***z=0*** (нулевую отметку) прямой ***EP***. Далее находят высотную отметку точки ***P***. На рис. 7 эта высотная отметка равна ***30***, которая определена тривиальным измерением отрезка. Если используются проекции, то эта величина определяется градуированием отрезка ***EK***.

Для определения других образующих части коноида (поверхности равнодлинного откоса) проводят окружность радиуса ***R***, равной натуральной величине отрезка образующей – прямой ***PK***, показано на рис.8. По построению этот радиус ***R =59***. Рассекают эту окружность горизонтальными прямыми, расстояния между которыми, в масштабе, равны единице высотного превышения – линейный масштаб (в примере линейный масштаб равен ***10***). Длину отрезка ***PK*** можно рассматривать как постоянную образующую конусов.

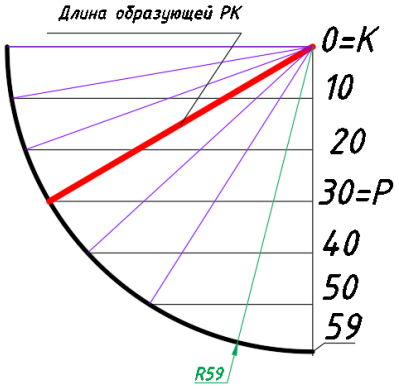


Рис. 8 – Определение угла наклона образующих поверхности равнодлинного откоса

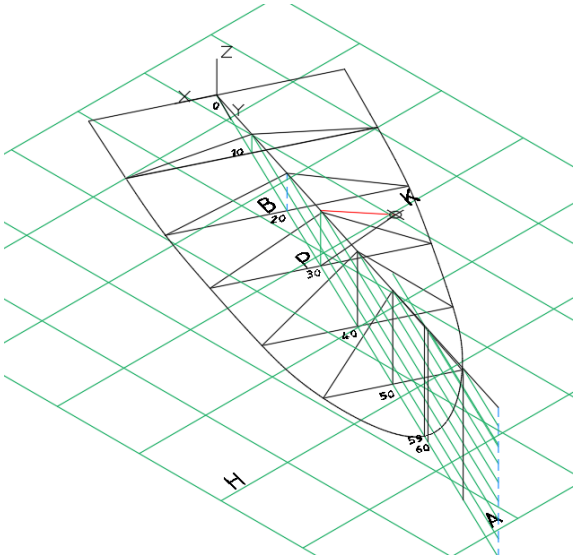


Рис. 9 – Каркас поверхности равнодлинного откоса

Затем строятся образующие поверхности равнодлинного откоса (части коноида) (рис.9), проходящие через отметки ***0,10,20,30***, причём горизонтальные проекции этих образующих на плане перпендикулярны направляющей ***AB***. В точке с отметкой ***59*** образующая поверхности будет вертикальной.

В результате лофтингового моделирования поверхность равнодлинного откоса представлена на рис. 10 в каркасном и реалистичном изображении.

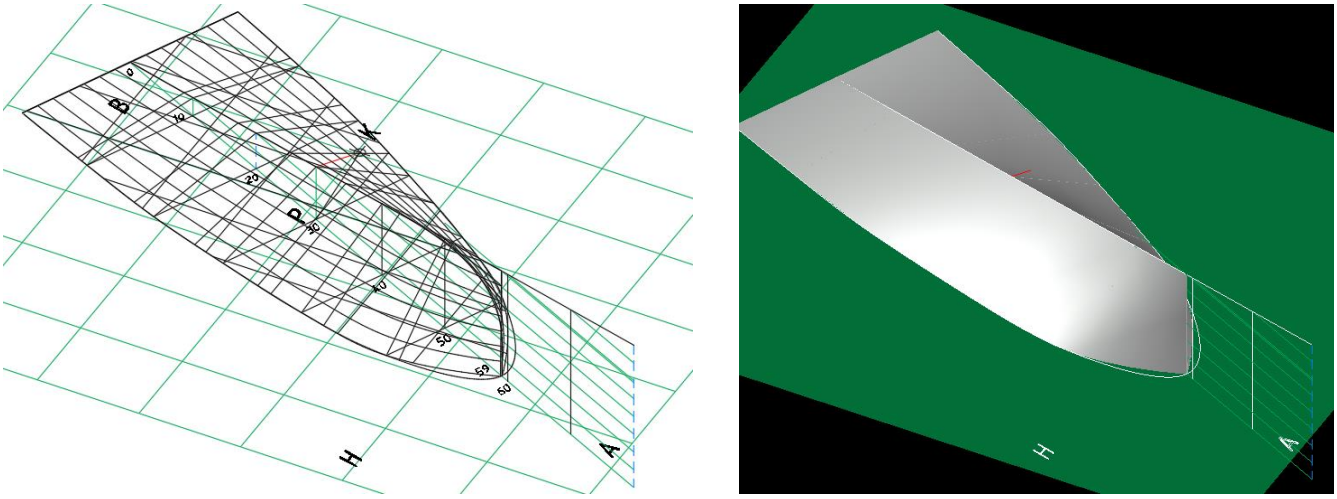
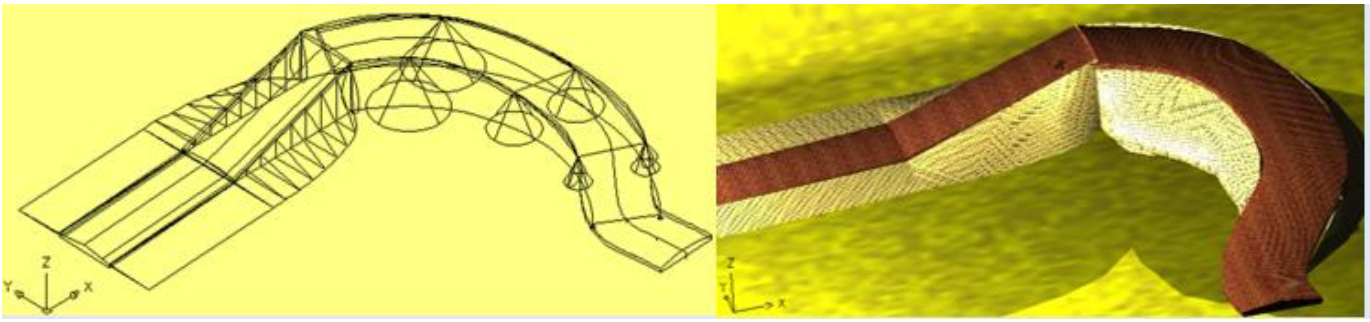


Рис. 10 – Модель поверхности равнодлинного откоса в каркасном и реалистичном изображении

Выводы

Проведен подробный анализ поверхностей Каталана с точки зрения прикладного значения в использовании моделирования откосов дорог. Представлены решения в моделировании откосов дорог методами линейчатой геометрии (рис.11). Получены необходимые и достаточные условия, отделяющие этот класс поверхностей Каталана от класса линейчатых поверхностей.



a *b*

Рис. 11 – Модели откосов дорог, с различными линейчатыми поверхностями:
a - каркасное изображение поверхностей; *b* - реалистичное изображение поверхностей

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Salomon D. Curves and Surfaces for Computer Graphics / D. Salomon, Springer, 2006.

2. Бабич В. Н. Геометрическое моделирование алгебраических объектов / В. Н. Бабич, Е. И. Шангина // VIII Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений», г. Екатеринбург, 4-5 апреля 2019 г. (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 3-12 апреля 2019 г.): сборник докладов / Оргкомитет: Н. Г. Валиев (отв. за выпуск) и др.; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – С. 256-261.

3. Волков В.Я. Теория параметризации и моделирования геометрических объектов многомерных пространств и её приложения / В.Я. Волков. Автореферат докт. дисс. – М.: 1983.

4. Shangina E.I. Geometric Modeling of a Topographic Surface Based on a Fractal Coordinate System / E.I. Shangina // ICGG 2020—Proceedings of the 19th International Conference on Geometry and Graphics—San-Paolo, Brazil, January 18–22, 2021, p. 2034.

5. Гордон В. О. Курс начертательной геометрии: учебное пособие для втузов / В. О. Гордон, М. А. Семенцов-Огиевский. – М.: Наука, 2007 –271 с.

6. Фролов С. А. Начертательная геометрия: учебник / С. А. Фролов. – 3 изд. перераб. и доп. – М.: ИНФРА – М, 2008 – 281 с.

7. Шангина Е.И. Геометрическое конструирование многообразий графическими методами применительно к процессам обогащения.: дисс. ... канд. техн. наук: 05.01.01 / Елена Игоревна, Шангина – М, 2010. – 159 с.

8. Шангина. Е.И. Геометрические принципы формирования поверхностей на основе движений / Е.И. Шангина. // Технологии, машины и производство лесного комплекса будущего. Материалы Международной научн.-практич. конф., посвященной 50-летию лесоинженерного факультета. Воронеж: Изд-во ВГЛА, 2004 - С. 42-46.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Salomon D. Curves and Surfaces for Computer Graphics / D. Salomon, Springer, 2006.

2. Babich V. N. Geometricheskoe modelirovanie algebraicheskikh ob"ektov. VIII Mezhdunarodnaja nauchno-tekhnicheskaja konferencija «Innovacionnye geotekhnologii pri razrabotke rudnykh i nerudnykh mestorozhdenijj», g. Ekaterinburg, 4-5 aprelja 2019 g. (Ural'skaja gornopromyshlennaja dekada, g. Ekaterinburg, 3-12 aprelja 2019 g.) [Geometric Modeling of Algebraic Objects. VIII International Scientific and Technical Conference "Innovative Geotechnologies in the Development of Ore and Non-Metallic Deposits", Yekaterinburg, April 4-5, 2019 (Ural Mining and Industrial Decade, Yekaterinburg, April 3-12, 2019): A Collection of Reports] / V. N. Babich, E. I. Shangina / Organizing Committee: N. G. Valiev et al.; . - Yekaterinburg: Ural State Mining University Publishing House, 2019, pp. 256-261 [in Russian]

3. Volkov V. Ya. Teorija parametrizacii i modelirovanija geometricheskikh ob"ektov mnogomernykh prostranstv i ejo prilozhenija [The Theory of Parametrization and Modeling of Geometric Objects of Multidimensional Spaces and Its Applications]. Extended abstract of Doctor's thesis / V. Ya. Volkov. - Moscow: 1983 [in Russian]

4. Shangina E.I. Geometric Modeling of a Topographic Surface Based on a Fractal Coordinate System / E.I. Shangina // ICGG 2020—Proceedings of the 19th International Conference on Geometry and Graphics—San-Paolo, Brazil, January 18–22, 2021, p. 2034.

5. Gordon V. O. Kurs nachertatel'nojj geometrii: uchebnoe posobie dlja vtuzov [Course of Descriptive Geometry: A Textbook for Vtuzov] / V. O. Gordon, M. A. Sementsov-Ogievsky. - M.: Nauka, 2007, 271 p. [in Russian]

6. Frolov S. A. Nachertatel'naja geometrija: uchebnik [Descriptive Geometry: A Textbook] / S. A. Frolov. - 3rd edition. Revised and Expanded - M.: INFRA-M, 2008, 281 p. [in Russian]

7. Shangina E. I. Geometricheskoe konstruirovanie mnogoobrazijj graficheskimi metodami primenitel'no k processam obogashhenija [Geometric Construction of Manifolds by Graphical Methods in Relation to Enrichment Processes]: Candidate's thesis. Engineering Sciences: 05.01.01 / Elena Igorevna, Shangina-M, 2010. - 159 p. [in Russian]

8. Shangina. E. I. Geometricheskie principy formirovanija poverkhnostejj na osnove dvizhenijj. Tekhnologii, mashiny i proizvodstvo lesnogo kompleksa budushhego. Materialy Mezhdunarodnojj nauchn.-praktich. konf., posvjashhennojj 50-letiju lesoinzhenernogo fakul'teta [Geometric Principles of Forming Surfaces Based on Movements. Technologies, Machines and Production of the Forest Complex of the Future. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Dedicated to the 50th Anniversary of the Faculty of Forest Engineering] / E. I. Shangina. Voronezh: Publishing House of the Voronezh State Forestry Academy, 2004, pp. 42-46 [in Russian]

АРХИТЕКТУРА / ARCHITECTURE

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.019

К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ СОЗДАНИЯ КОМФОРТНОЙ СРЕДЫ ГОРОДСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ

Научная статья

Гурбатов Р.И.[1, *], Сергеева Н.Д.[2]

[1, 2] Брянский государственный инженерно-технологический университет, Брянск, Россия

* Корреспондирующий автор (grom0ff.rus[at]yandex.ru)

Аннотация

Производственная деятельность муниципальных предприятий по созданию комфортной среды городского поселения, в частности на объектах озеленения территории характеризуется высокими издержками и сроками выполнения работ. Низкий уровень организационно-технологической подготовки производственной деятельности и низкий уровень бюджетного финансирования являются основными причинами низкой эффективности, что подтверждает актуальность рассматриваемой проблемы. Необходимость изменения порядка организационно-технологической подготовки производства строительно-озеленительных работ и работ по благоустройству в целях создания комфортной среды городского поселения авторами предлагается обеспечить разработку проектной документации (ПОС И ППР) на все технологические процессы.

Ключевые слова: вертикальное озеленение, экстенсивное организационно-технологическая подготовка производства, строительно-озеленительные работы, комфортная городская среда, благоустройство территории, городское строительство, ПОС, ППР, себестоимость работ, интенсивный вид озеленения.

ON IMPROVING THE ORGANIZATION OF CREATING A COMFORTABLE ENVIRONMENT FOR MUNICIPAL SETTLEMENTS

Research article

Gurbatov R.I.[1, *], Sergeeva N.D.[2]

[1, 2] Bryansk State Engineering and Technology University, Bryansk, Russia

* Corresponding author (grom0ff.rus[at]yandex.ru)

Abstract

The production activities of municipal enterprises to create a comfortable environment of municipal settlements, in particular on the objects of landscaping, are defined by high costs and deadlines for the execution of work. The low level of organizational and technological preparation of production activities as well as the low level of public funding are the main reasons for low efficiency, which confirms the relevance of the issue under study. The need to change the order of organizational and technological preparation for the realizing construction and landscaping projects in order to create a comfortable urban environment, the authors propose to ensure the development of project documentation (Construction Management Plan (CMP) and Safe Work Method Statement (SWMS)) for all technological processes.

Keywords: vertical landscaping, extensive organizational and technological preparation of production, construction and landscaping works, comfortable urban environment, landscaping, urban construction, POS, PPR, cost of work, intensive type of landscaping.

Создание комфортной среды городского поселения заложено в региональной программе «Комфортная городская среда», что особенно важно с учетом особенностей условий территории, пострадавшей из-за техногенной Чернобыльской катастрофы. Программа рассчитана на период до 2030 года и актуальность планируемых мероприятий не подвергается сомнениям, а подходы к их реализации устаревшего технологического уровня [1], [2].

В то же время изучение производственно-технологического потенциала предприятий городского строительства и хозяйства, выполняющих планируемые объемы работ данной программы, неэффективны. Это подтверждается данными финансово-бухгалтерской и производственной отчетности, среди которых главным образом предприятия малого и среднего предпринимательства. Их характеризует слабая производственная база, узкий диапазон работ; высокий уровень ручных операций (более 27%); высокая текучесть кадров и их низкая квалификация и, как следствие- низкое качество работ. Выявлены резервы за счет ресурсосбережения (финансовых, сырьевых и людских) в связи с низким уровнем организационно-технологической подготовки работ на объектах озеленения и благоустройства. Эта подготовка ограничивается разработкой только технического задания, соответствующего проекту дизайна объекта. Никаких вариантных проработок и расчетов не производится, а многие заложенные в задание показатели взяты произвольно. Конечно, это не имеет ничего общего с рациональным подходом к производству работ, что приводит к увеличению стоимости объемов работ на объектах.

Изучение данной проблемы позволило сформулировать ряд промежуточных рекомендаций, среди которых необходимо совершенствование управления производственной деятельностью путем совершенствования организационно-технологической подготовки; повышение уровня механовооруженности и квалификации рабочих [3], [4], [5].

Поэтому необходимость изменения порядка организационно-технологической подготовки производства строительно-озеленительных работ и работ по благоустройству в целях создания комфортной среды городского поселения авторами предлагается обеспечить разработку проектной документации (ПОС И ППР) на все технологические процессы; ознакомить инженерно-технический персонал с методами оперативного управления процессами в условиях изменения ситуации на объекте [3]. Однако, существует проблема создания методологии

организационно-технологической подготовки производства работ на объект озеленения и благоустройства, включающая в себя разработку модели, алгоритма и программы оптимизационного расчета, которая осложнена большим разнообразием форм, объемов и технологий. С другой стороны, будет возможен

выбор рациональной технологии, количества и типоразмеров средств механизации, требуемого состава бригады производственных рабочих и др.

Для осуществления оперативного выбора оптимальной технологии на объекты кровельного и вертикального озеленения зданий и сооружений городского поселения была разработана экономико-математическая модель. В качестве критерия оптимизации экономико-математической модели нами были приняты стоимостный параметр или трудоемкость работ.

Критерий оптимизации - себестоимость работ образован с использованием метода составного критерия оптимизации [3]:

На первом этапе составлена общая структура экономико-математической модели оптимизации по критерию себестоимости или трудоемкости имеет следующий вид:

$$C_{пр}\ \{\Sigma\ V_o\ t_{зо} + \Sigma\ V_n\ t_{зп}\}\{\Sigma[F_{пр} + F_{вр}]N_p + \Sigma[F_{мм}\ N_м + t_{пр}\ N_м]\} + Ц_{мат} \rightarrow min$$

Структура экономико-математической модели по критерию трудоемкости выполнения работ для объектов озеленения по обеспечению минимума функционала может быть представлена в виде:

$$T_{пр}\ \{\Sigma\ V_o\ t_{зо} + \Sigma\ V_n\ t_{зп}\}\{\Sigma[F_{пр} + F_{вр}]N_p + \Sigma[F_{мм}\ N_м + t_{пр}\ N_м]\} \rightarrow min$$

где $C_{про}$ - общие приведенные затраты на выполнение программы работ;

V_o – объем работ на объекте;

V_n – объем работ на переходящих объектах;

$F_{мм}$ – фонд полезного времени средств механизации;

$F_{пр}$ – фонд рабочего времени подсобных рабочих;

$F_{вр}$ - фонд рабочего времени вспомогательных рабочих;

$t_з$ – сроки выполнения работ;

$t_{кс}$ – календарная продолжительность строительного сезона;

a – сменность работы;

S – Продолжительность смены, ч.

$N_м$ – количество машин;

N_p – количество работников;

$t_{пр}$ – время простоя машин.

$Ц_{мат}$ – стоимость используемых материалов

Система ограничений модели следующая:

– объемы работ на строительстве объектов озеленения будут выполнены в полном объеме ($V_o^{пл} = V_o^{факт}$);

– все работы на переходящих объектах озеленения будут выполнены в полном объеме ($V_n^{пл} = V_n^{факт}$);

– фонд полезного времени средств механизации и рабочего времени исполнителей достаточны для исполнения их в пределах заданных сроков ($F_{мм} + F_{пр} - t_{пр} \leq t_з$);

– фонд полезного времени средств механизации и рабочего времени исполнителей достаточен для выполнения программы производства любых, в том числе малообъемных, работ при строительстве объектов озеленения, не более календарной продолжительности строительного сезона ($F_{мм} + F_{пр} - t_{пр} \leq t_{кс}$);

– число перебазируемых средств механизации не превышает из количества в парке техники предприятия по озеленению и благоустройству городских территорий ($N_м \leq N_м^{парк}$);

– неизвестные переменные не отрицательны ($X \geq 0$);

– время простоев по организационным причинам, в том числе для переустановки техники при многорядной системе озеленения, не должно превышать, в соответствии с нормами, 20% от времени смены ($t_{пр} \leq 0,2S$);

– количество работников, занятых на рабочих процессах, не превышает наличия рабочих в штате ($N_p \leq N_p^{шт}$).

В соответствии с данной экономико-математической моделью были разработаны

алгоритм расчета рациональной технологии устройства озеленения на вертикальное и кровельное озеленение зданий и программа расчета на ЭВМ [3], [4], [5].

Данная методология, разработанная с участием магистранта БГИТУ И. Голотиной, а программа, была ею апробирована и включала два расчетных этапа:

Первый этап программы представляет собой сводную базу возможных к применению (посадке) растений, используемых при всех системах озеленения здания с указанием их экономических, эстетических и эксплуатационных характеристик, включая показатель шумозащиты.

Второй этап программы - выполнение расчета рациональной технологии устройства озеленения по критерию трудоемкости и стоимости.

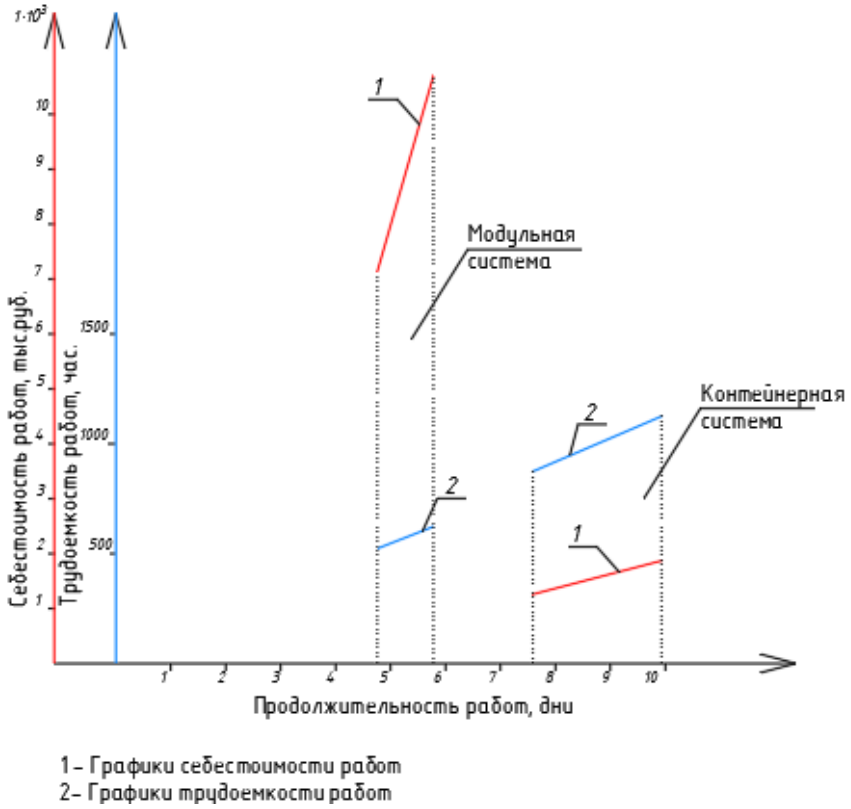


Рис. 1 – Расчет объектов для вертикального озеленения

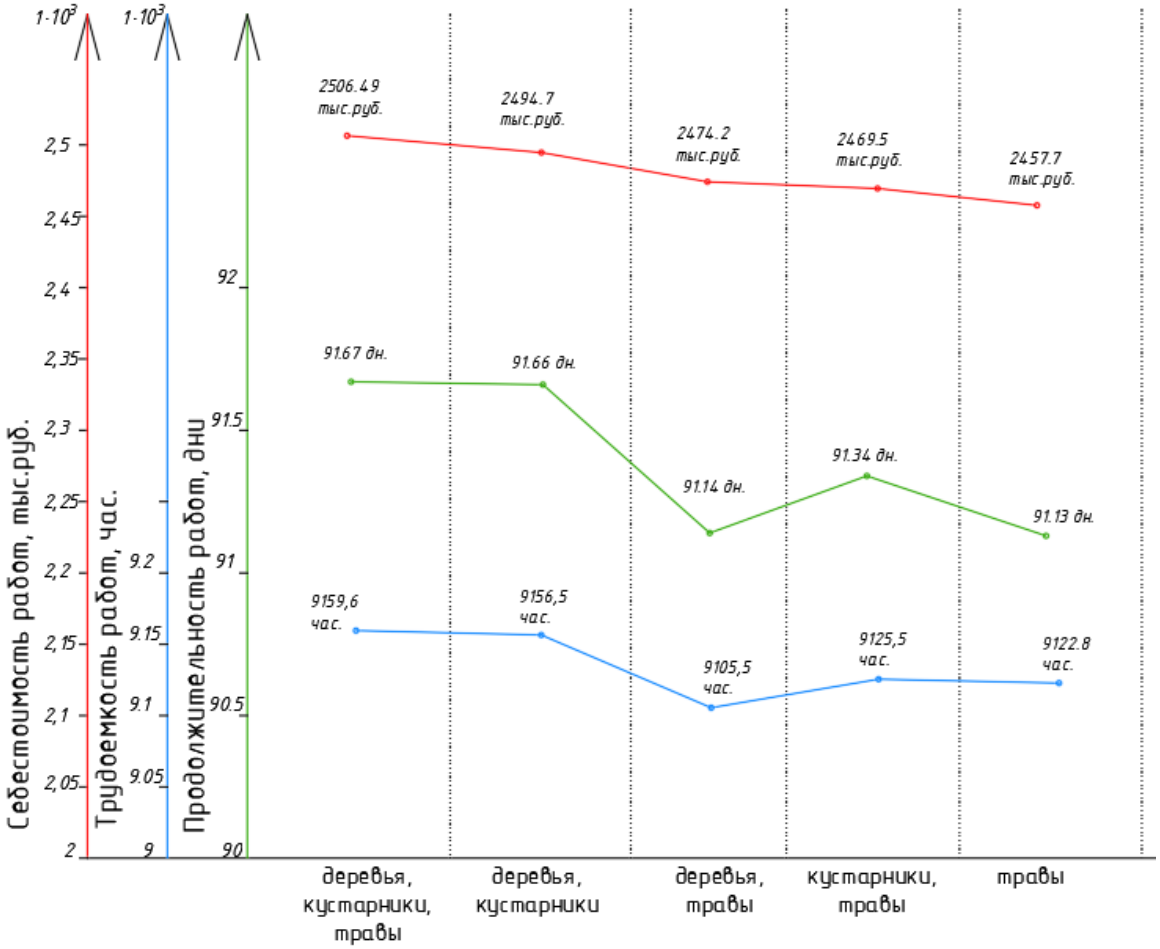


Рис. 2 – Расчет объектов для кровельного озеленения

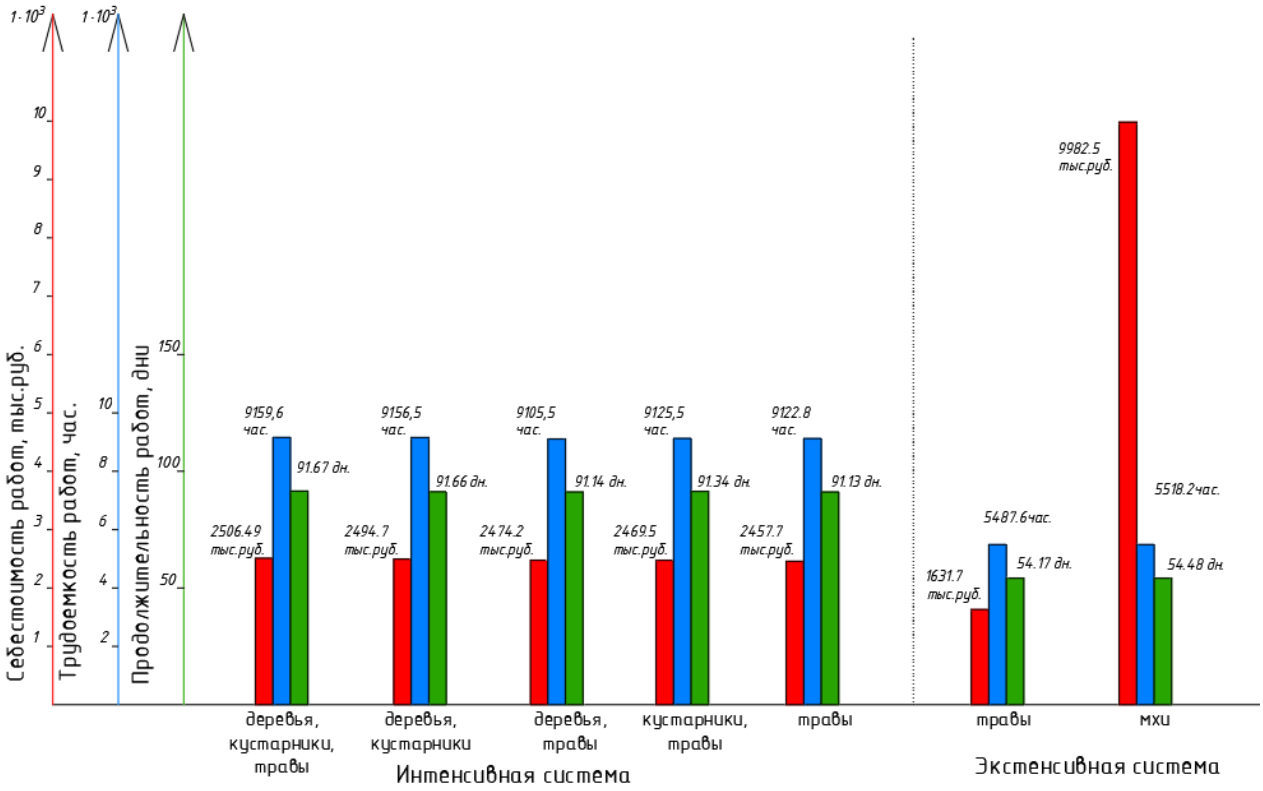


Рис. 3 – Пример применения программы для выбора технологии озеленения здания

Расчет объектов вертикального озеленения: одноэтажного жилого дома и типового этажа многоквартирного дома по критериям себестоимости, трудоемкости и продолжительности работ с целью определения рациональной технологии (рисунки 1 и 2). Для кровельного озеленения были рассмотрели варианты естественного ограждения периметра кровли 30х30м с применением различных растений и их комбинаций, в том числе трехуровневое, двухуровневое и одноуровневое озеленение (Рисунок 3.)

Так, расчеты показали, что для кровельного озеленения при использовании интенсивной системы выбор варианта естественного ограждения для озеленения не вносит существенных изменений, так как существенная часть издержек приходится на подготовку кровли, а не на посадочные растения. При этом максимальная разница в себестоимости (между одноуровневым и трехуровневым озеленением) составила 48745,2 руб.

При вариантном выборе технологий установлено, что, например, использование экстенсивной системы позволяет сократить продолжительность работ в 1.66 раза, трудоемкость работ в 1.68 раза, а себестоимость в 1.51 раза. Но, при этом применение экстенсивной системы резко сокращается ассортимент растений.

Заключение

Разработанная авторами методология организационно-технологической подготовки производства работ на объекты озеленения и благоустройства с целью выполнения программы «Комфортная городская среда» (путем автоматизированного расчета ПОС И ППР), что позволит предприятиям городского строительства и хозяйства осуществлять выполнение объемов с минимальными издержками.

Данная методология позволяет осуществлять не только выбор рациональных технологий и оптимизировать календарное планирование, но оперативно управлять организацией технологических процессов в условиях климатических или производственных ситуационных изменений. Рациональность выбора технологий подтверждается данными экономических показателей, так, расчетный диапазон их разброса на примере кровельного озеленения показал превышение показателей себестоимости, трудоемкости и продолжительности работ соответственно в 1.51, 1.68 и 1.66 раза.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. СП 42.13330.2011 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* : введен 20.05.2011г.; нормативно-технический материал. – М.: Минрегион России, 2011 год. – 84 с.
2. СНиП 2.07.01-89* Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений : введен 01.01.1990г.; нормативно-технический материал. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2002 год. – 72 с.
3. Сергеева Н.Д. Методология организационно-технологической подготовки на объектах примагистрального шумозащитного озеленения: Монография / Н.Д. Сергеева, В.В. Цыганков. – Брянск, БГИТУ, 2018 – 146 с.
4. Голотина И.А. К вопросу развития методологии проектирования объектов благоустройства в городском хозяйстве / И.А. Голотина, Н.Д. Сергеева // «Инновации в строительстве – 2018»: материалы международной научно-практической конференции (Брянск, 22-24 нояб. 2018 г.)/ Брян. гос. инженер.-технол. ун-т; Брянск - 2018. С.170-173.

5. Голотина И.А. К вопросу совершенствования производственной деятельности предприятий городского хозяйства города Брянска / И.А. Голотина, Н.Д. Сергеева // Международный студенческий строительный форум -2018 Белгород – 2018 г.

6. Евтушенко А.И. Инновационные методы дополнительного озеленения городского пространства / А.И. Евтушенко, В.Э. Нуриев, В.В. Зотов и др. // ИВД. 2018. №3 (50). [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-metody-dopolnitelnogo-ozeleneniya-gorodskogo-prostranstva (дата обращения: 28.11.2019).

7. Зильберова И.Ю. Мероприятия по организации "зеленых зон" в условиях плотной застройки города / И.Ю. Зильберова, К.С. Петров, Е.В. Киселёва и др. // ИВД. 2018. №1 (48). [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/meropriyatiya-po-organizatsii-zelenyh-zon-v-usloviyah-plotnoy-zastroyki-goroda (дата обращения: 28.11.2019).

8. Хуснутдинова А.И. Технология вертикального озеленения / А.И. Хуснутдинова, О.П. Александрова, А.Н. Новик // Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. №12 (51). 2016. С. 20-32.

9. Шувалов В.М. Мобильное озеленение зданий / В.М. Шувалов, М.М. Саад // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2016. №2. [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/mobilnoe-ozelenenie-zdaniy (дата обращения: 28.11.2019).

10. Wallplant – новая эра в озеленении. [Электронный ресурс]. URL: https://wallplant.nethouse (дата обращения: 28.11.2019

Список литературы на английском языке / References in English

1. SP 42.13330.2011 Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastrojjka gorodskikh i sel'skikh poselenijj. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.07.01-89*: vveden 20.05.2011g.; normativno-tekhnicheskijj material [Code 42.13330.2011 Urban planning. Planning and development of urban and rural settlements. Updated version of Construction Standards and Regulations2.07.01-89*: introduced on 20.05.2011; normative and technical material]. - Moscow: Minregion rossii, 2011. - 84 p. [in Russian]

2. SNiP 2.07.01-89* Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastrojjka gorodskikh i sel'skikh poselenijj vveden 01.01.1990g.; normativno-tekhnicheskijj material [Construction Standards and Regulations 2.07.01-89 * Urban Planning. Planning and Construction of Urban and Rural Settlements: Introduced 01.01.1990; Normative and Technical Material]. - Moscow: Gosstroy of Russia, GUP CPP, 2002. – 72 p. [in Russian]

3. Sergeeva N. D. Metodologija organizacionno-tekhnologicheskojj podgotovki na ob"ektakh primagistral'nogo shumozashhitnogo ozelenenija: Monografija [Methodology of Organizational and Technological Training at the Objects of Primagistral Noise-Proof Landscaping: A Monograph] / N. D. Sergeeva, V. V. Tsygankov-Bryansk, Bryansk State Engineering and Technology University, 2018-146 p. [in Russian]

4. Golotina I. A. K voprosu razvitiya metodologii proektirovaniya obektov blagoveshchestva v gorodskom khoziom [On the issue of development of methodology for designing improvement objects in the urban economy] / I. A. Golotina, N. D. Sergeeva // ["Innovations in Construction-2018": Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Bryansk, November 22-24, 2018)]. Bryansk State Engineering and Technology University; Bryansk-2018, pp. 170-173. [in Russian]

5. Golotina I. A. K voprosu sovershenstvovanija proizvodstvennojj dejatel'nosti predprijatijj gorodskogo khozjajjstva goroda Brjanska [On the Issue of Improving the Production Activities of Enterprises of the Urban Economy of the City of Bryansk] / I. A. Golotina, N. D. Sergeeva // Mezhdunarodnyjj studencheskijj stroitel'nyjj forum -2018 [International Student Construction Forum -2018] Belgorod-2018 [in Russian]

6. Yevtushenko A. I. Innovacionnye metody dopolnitel'nogo ozelenenija gorodskogo prostranstva [Innovative Methods of Additional Landscaping of Urban Space] / A. I. Yevtushenko, V. E. Nuriev, V. V. Zotov // IVD. 2018. No. 3 (50). [Electronic resource]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnye-metody-dopolnitelnogo-ozeleneniya-gorodskogo-prostranstva (accessed: 28.11.2019). [in Russian]

7. Zilberova I. Yu. Meroprijatija po organizacii "zelenykh zon" v uslovijakh plotnojj zastrojjki goroda [Measures for the Organization of "Green Zones" in the Conditions of Dense Urban Development] / I. Yu. Zilberova, K. S. Petrov, E. V. Kiselyova et al. // IVD. 2018. No. 1 (48). [Electronic resource]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/meropriyatiya-po-organizatsii-zelenyh-zon-v-usloviyah-plotnoy-zastroyki-goroda (accessed: 28.11.2019). [in Russian]

8. Khusnutdinova A. I. Tekhnologija vertikal'nogo ozelenenija [Technology of Vertical Gardening] / A. I. Khusnutdinova, O. P. Aleksandrova, A. N. Novik // Stroitel'stvo unikal'nykh zdanijj i sooruzhenijj [Construction of Unique Buildings and Structures]. ISSN 2304-6295. №12 (51). 2016, pp. 20-32. [in Russian]

9. Shuvalov V. M. Mobil'noe ozelenenie zdanijj [Mobile Landscaping of Buildings] / V. M. Shuvalov, M. M. Saad // Vestnik RUDN. Series: Engineering research. 2016. №2. [Electronic resource]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/mobilnoe-ozelenenie-zdaniy (accessed: 28.11.2019). [in Russian]

10. Wallplant – novaja ehra v ozelenenii [Wallplant – a new era in landscaping]. [Electronic resource]. URL: https://wallplant.nethouse (accessed: 28.11.2019) [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.020

РОЛЬ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЯ

Научная статья

Асрар Канишка[1, *], Окольникова Г. Э.[2], Хесам Али А.Р.[3], Свинцов А.П.[4]
[1] ORCID:0000-0003-1223-4122;
[2] ORCID: 0000-0002-8143-4614;
[3] ORCID:0000-0003-0640-9563;
[4] ORCID: 0000-0003-0564-3307;
[1, 2, 3, 4] Российский университет дружбы народов (РУДН), Москва, Россия

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

Аннотация

В настоящее время нанотехнологии представлены как инновационная область исследований в современных технологиях, различных отраслях промышленности и высокоэффективных зданиях. Использование нанотехнологий как гибкого явления и их применение в строительной отрасли дало большую стабильность, снизило потребление энергии и улучшило характеристики строительных материалов. В этой статье авторы попытались представить и проанализировать наноматериалы и их применение в различных строительных отраслях. Исследование, проведенное на основе описательно-аналитических методов, показало, что технологии наноматериалов полезны для создания инфраструктуры и эффективно обеспечивают устойчивость окружающей среды.

Ключевые слова: нанотехнологии, новые технологии строительства, накопители энергии в материалах, материалы с нанопокрытием.

ON THE ROLE OF NANOTECHNOLOGY IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY AND ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS

Research article

Asrar Kanishka [1, *], Okolnikova G.E.[2], Hesam Ali A.R.[3], Svintsov A.P.[4]
[1] ORCID:0000-0003-1223-4122;
[2] ORCID: 0000-0002-8143-4614;
[3] ORCID:0000-0003-0640-9563;
[4] ORCID: 0000-0003-0564-3307;
[1, 2, 3, 4] People's Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia

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

Abstract

Nowadays, nanotechnology has been presented as an innovative research field in modern technology, various industries, and highly efficient buildings. Using nanotechnology as a flexible phenomenon and its application in the construction industry has given more stability, decreased energy consumption, and improved construction materials' performance. In this paper, the authors tried to introduce and analyze nanomaterials and their application in the different parts of the building and construction industry. The research, which was done based on descriptive-analytical methods, indicated that nanomaterial technologies are useful for building infrastructure and effectively ensure the environment's sustainability.

Keywords: Nanotechnologies, building new technologies, materials energy storage, nano-coated materials.

Introduction

Nanotechnology is any nanoscale technology with applications and productivity in chemical, physical, and biological systems of scales ranging from individual atoms (0, 1-100 nm) to submicron dimensions and integrating the resulting nanostructures into larger systems [1]. This technology can also be defined as the design, characterization, production, and use of structures, tools, and techniques by controlling the shape and size of materials at the nanoscale [2]. For the first time, nanotechnology offers tools to develop new industries based on cost-effective and cost-efficient economies. Nanotechnology is extensively used to manufacture polymers with molecular structures, designing computer lathes and modern energy devices. Nanoparticles also play an essential role in manufacturing cosmetics, various coatings and protective equipment, durable clothing, and the leading industries, including construction and materials building [3], [4]. Nano helps produce materials with quality and characteristics to achieve better strength, energy conservation, material life, hygiene, and other construction industries.

Currently, the construction industry has a very competitive and big market due to the availability of a vast range of materials. Although paying attention to products and substances with the most negligible environmental impact is a crucial issue in selecting sustainable materials for the construction industry, other aspects such as beauty, quality, repairing, maintenance capability, easy access, and reasonable costs should also be considered. Zhu and colleagues clearly explained the importance and potential of nanotechnology in building materials and construction in the report called RILEM TC 197-NCM [5], [6]. It has resulted from their research report that the nano has the following potentials to be an innovative, functional, and cheap technology;

- The use of nanoparticles, nanofibers, and carbon nanotubes increases cementitious composites' strength and durability and leads to pollution reduction.
- It improves the production of thermal insulation materials with a performance10 time commercial current option.
- Production of cheap corrosion-free steel.
- To facilitate coats and thin-film production with the self-cleaning ability and self-color change to minimize energy consumption.

Parvin assessed the various application of nanotechnology in the construction industry and indicated that nanomaterials in the composition of some materials, such as cement, will significantly reduce CO2 pollution. Moreover, the use of performance thermal insulations will result in inefficient use of energy [7].

Methods

This research is based on descriptive-analytical approaches by considering a series of library studies and later comparative-applied methods to present nanotechnology's practical application in the building and construction industry. For this purpose, first, the main concepts related to nanotechnology have been evaluated and defined. Then, while mentioning this technology's importance and place in a scientific society, we examined nano's role in the building industry. Moreover, using the previous researches and experts' ideas, we analyzed the effects of using building materials in construction and the possibility of their coverage with nanotechnology.

Research Findings

1. Application of nanotechnology in the construction industry

The construction industry is an industry that is divided into several sections and, therefore, changes in its elemental occurs very slowly. Strict rules and regulations are characteristic of this industry [8]. The construction industry faces a wide range of challenges, such as nanomaterials' performance in environmental-related issues, the detrimental effects on human health and safety, and raw materials and their properties. Recent developments in nanotechnology showed that this technology has a promising approach to face many of these challenges. The application of nanotechnology in the building industry includes developing the concept and understanding of cement particles' hydration. It also provides a framework for the use of nanoscale materials such as alumina and silica and other new nanoparticles, which can improve the characteristics and vital qualities of building materials, especially resistance, durability, lightness, etc .Table (1) summarizes the primary and essential applications of nanomaterials in construction and building materials.

Table 1 – Nanomaterials used in construction materials

Application Area	Nanoparticle Type	Major Applications
Concrete	Silica nanoparticles Titania nanoparticles Carbon nanotubes	• Reinforcing mechanical strength • Self-cleaning • Rapid hydration • Increasing the degree of hydration • Improving the mechanical durability • Crack prevention
Concrete	Iron oxide nanoparticles	• Abrasion-resistant • Weldability • Increasing the compressive strength
Asphalt concrete	Zycosoil	• Increased fatigue life • Higher compaction
Asphalt concrete timber	Aluminum oxide nanoparticles	• Increasing serviceability
Bricks mortar	Clay nanoparticles	• Increasing compressive strength • Increasing surface roughness
Steel	Copper nanoparticles	• Weldability • Corrosion resistance
Glass	Titanium dioxide nanoparticles (Titania) Silican dioxide (Silica)	• Self-cleaning • Anti-reflective • Fireproof • Anti-dust and anti-fog
Paint	Silver nanoparticles (AgNPs) Titanium dioxide (TiO_2)	• Self-cleaning • Anti-bacterial • Antistatic • Scratch resistant

Furthermore, new functions such as energy storage, self-repair, self-cleaning, anti-corrosion capability, and improvement of the main components used to maintain and ensure the building's health, like structural health monitoring sensors, can be expected from new materials coated with nanoparticles. For instance, in nanocoatings, the possibility of self-cleaning, fire resistance and anti-bacterial in glasses, concrete ability to reduce cracking in compacted concrete, low carbon nanoparticles with high carbide, and other relevant functions have significant results for the construction industry [9], [10].

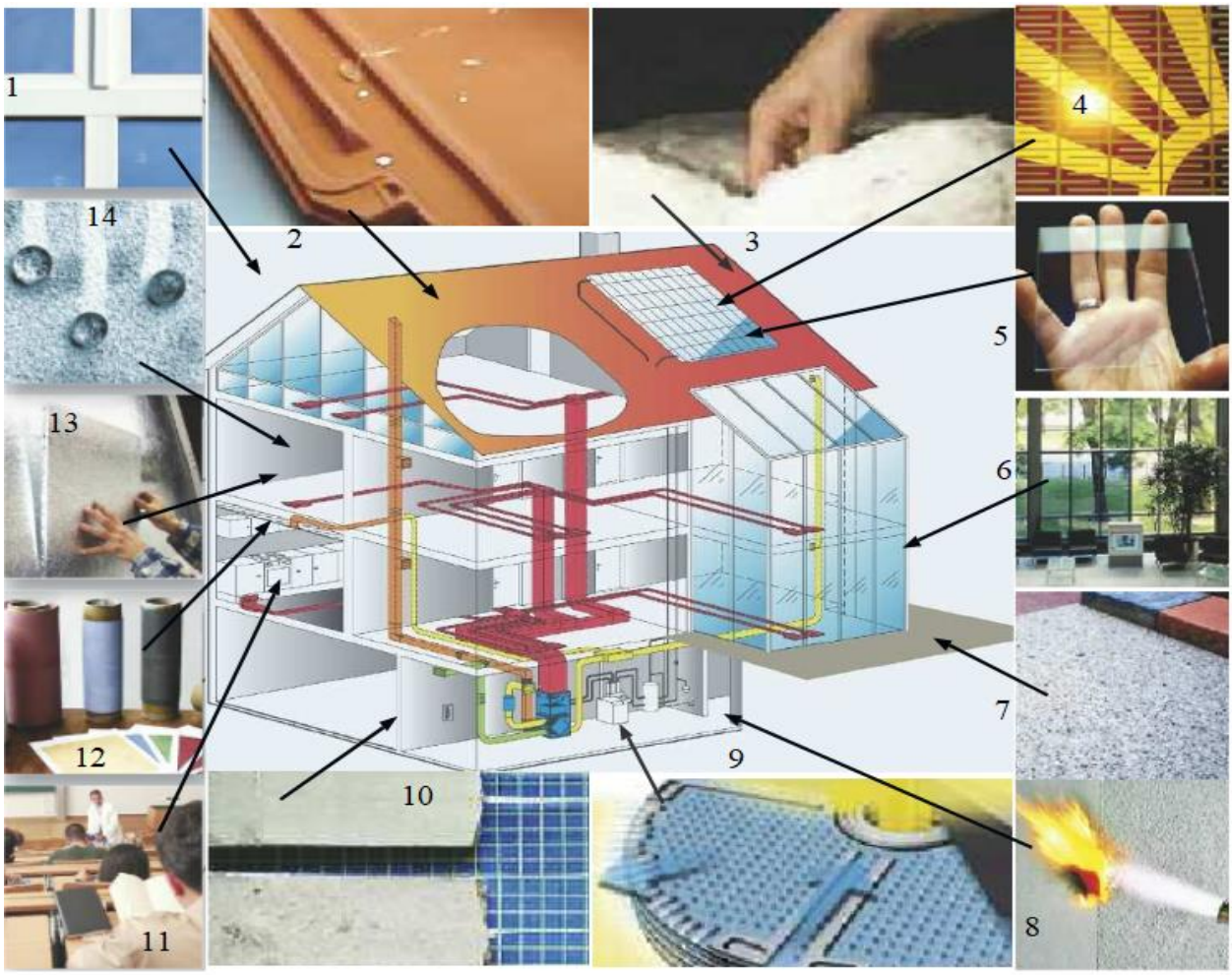


Fig. 1 – Different usages of nanotechnology in construction and building materials:
1 – self-cleaning window (glass); *2* – self-cleaning and decorative roof tiles; *3* – fire-resistant insulation wool for roof insulation; *4* – dye solar cells for regenerative energy supply; *5* – anti-reflective coatings for solar cells; *6* – control of the light and heat flow through smart windows; *7* – soiling-resistant floor panels; *8* – fireproof doors, windows, and cables; *9* – fuel cells for building services; *10* – optimized concrete properties for building structures; *11* – anti-fingerprint and anti-bacterial properties for fittings and furniture; *12* – ceramic foils as a wall covering; *13* – highly efficient facade insulation; *14* – dirt-repellent or self-cleaning facade surfaces

2. Windows and glass

About a third of a building's energy is wasted through windows. For this reason, efforts to reduce energy consumption in buildings are focused on windows [11]. Many studies have been done to find energy storage methods, and the need for energy storage has led to the invention of new types of glass windows in buildings and offices [12]. As a building material for windows and facades, glass is characterized by its high transparency, durability, shape, and color. However, the strong tendency to soiling, annoying reflections, and low thermal insulation of glass negatively affect. These adverse properties can be significantly reduced utilizing nanotechnological coatings, thus opening up new areas of application for glass such as:

- Improved thermal protection through low-E layers
- Sun protection through a switchable glass tint (e.g., electrochromic)
- Optimized use of daylight through integrated micromirror arrays
- Self-cleaning through photocatalytic coatings
- Anti-reflective layers through nanoporous SiO2 layers

2.1 Smart glass

By using nanotechnology in smart glasses, the amount of light absorption in these glasses can be changed. Smart glasses can control light and heat together, evident in Low-E glass and liquid crystal glasses. Low-E glass refers to glass with a much lower heat transfer than ordinary glass due to the thin layer coated on one side. These glasses can prevent the absorption of unwanted heat caused by light radiation. With nanotechnology in smart energy control glass, glass becomes a beneficial element to reduce energy consumption, increase the building's brightness and visibility, and the facade's beauty. Smart glass implements ideas of building with large windows, heavy light, and beauty around the building. These glasses can adjust the color and amount of flow straightforwardly and conveniently. In another type of smart energy control glass, primarily used as a separator in the building's interior spaces, a thin layer of the liquid crystal is used between the glasses, which becomes transparent by passing electricity through the film. Crystals, by their random orientation in space, scatter light and thus blur the glass. Therefore, millions of dollars can be saved with this system on space heating, cooling, and lighting [13].

a *b* *c*

Fig. 2 – Different formation of smart glasses
a – liquid crystal layer; *b* – smart glass (privacy); *c* – energy-smart glass

2.2 Anti-reflective glass

In some architectural applications, the reflection of light from the glass is considered an undesirable factor because it reduces the space's aesthetic quality and thermal comfort. With nanotechnology, anti-reflective glass can be used for applications that require low light reflection and high throughput. Anti-reflective glass has various uses, including its use in the exterior of commercial stores, shop windows, cars, cameras, mobile phones, and mirrors. The process reduces the reflection losses in glass panes from the usual 8% to 2%.

2.3 Anti-dust and anti-fog glasses (self-cleaning)

Self-cleaning glass has been available since 2002. Using nanotechnology, the transparency and cleanliness of these glasses can significantly increase because the combination of self-cleaning and photocatalytic effects helps to decompose bacteria. The quality of self-cleaning in these glasses, which is due to coatings with a thickness of a few nanometers, prevents water vapor droplets' accumulation on these glasses' surface and does not interfere with their performance.

2.4 Fireproof glass

Fire protection glass is another achievement of nanotechnology in the glass industry. There are always some negative points for glass to deal with fire, such as fragility, flame, and smoke emission due to melting glass during a fire. Therefore, nanoparticles can be a valuable addition for producing fireproof glass that forms a spatula-like coating due to heat and prevents the glass from breaking. These glasses are almost 50% lighter than previous models, and their fire-retardant effect is twice as much.

a *b* *c*

Fig. 3 – Types of glasses coated with nanoparticles:
a – anti-reflective glass; *b* – self-cleaning glass; *c* – fireproof glass

3. Applications of nanotechnology in painting

Nano paints are an innovative type of paint in the reconstruction industry that has given a new concept to material development and creativity. There are different types of nanocoatings paints in the construction industry that can be used in interior and exterior facades, doors, windows, glass, floors, and interior furniture.

3.1 Self-cleaning paints

Self-cleaning anti-paint paints are a group of protective nanocoatings that have received much attention to increasing durability, reducing costs, and reducing the time required to maintain equipment. These dyes can be achieved by adding different types of nanoparticles with the paint resin's self-cleaning ability. Self-cleaning nano paints do not change the surface's appearance, are completely transparent, and can be used on the building's interior and exterior surfaces. In these paints, contaminants or other foreign materials have inferior adhesion to the paint surface, so they are easily removed by natural agents (wind and rain) or surface cleaning.

3.2 Anti-bacterial paints

Anti-bacterial coatings prevent the formation of bacteria, algae, and germs on the surface and protect it against mold and fungus in public places, toilets, kitchens, and food production factories. With nanotechnology and the use of anti-bacterial coatings, inherent anti-bacterial properties are created on surfaces that are not removed by washing or detergents. The patented self-cleaning paint contains nanoparticles of titanium dioxide. When the coating of paint is exposed to the sun or any other ultraviolet light source, any organic substances on the surface decompose with the paint's coating's oxidative properties.

3.3 Antistatic paints

Since the generated static electricity by traffic, sliding, and rubbing in various industries where flammable materials are present cause bursts, explosions, irreparable damage, and conductive antistatic coating, the transmission of static electricity in these places is essential. Due to the fillers' high specific surface area in nano antistatic paints, fewer materials are needed to achieve the desired conductivity. Nano antistatic paints have high mechanical, physical, and chemical properties. This type of paint improves processability, desirable color properties, quality, and very high durability.

3.4 Scratch-resistant paints

Scratches in materials such as wood, metals, plastics, polymers, and glass limits their use in many cases can shorten the life of many products that take a lot of energy and money to replace. Nano scratch coatings are transparent, have a high quality, and can be created on surfaces in form color with transparent layers.

4. Concrete

Cement-bound building materials concrete - an artificial rock made from cement, concrete aggregate (sand and gravel or chippings), and water - with an annual production of over 10 billion ton are the world's most significant economic material in terms of quantity and essential building material in solid and shell construction. The high resistance and strength of concrete are mainly due to crystal structures with only a few nanometers. In recent years, nanomaterials as additives for cement-based building materials and new processes for nanostructure elucidation have provided a platform for significant material improvements in a concrete building. Here, nanotechnologies ensure material enhancements through the use of nanopowders as additives in cement mixes. This improves the strength, workability, and durability of concrete and mortar and conceives other functions such as electromagnetic shielding, thermal protection, thermal conductivity control, color changes, and catalytic reactions in large-scale degradation of pollutants [14], [15], [16], [17]. For instance, nanoscale metal oxides (eg, colloidal silicon dioxide) or block copolymers are already used commercially as nanoscale additives to improve the properties of concrete/mortar. Using colloidal silicon dioxide, which has a particle size distribution typically in size range from 5 to 30 nm, the strength of the concrete and the resistance to acid corrosion can be further improved. The effect is essentially based on a high active surface area of colloidal silicon dioxide (silica) and its ability to form additional strength-increasing reaction products with cement components. The accelerated and more intensive setting reaction and the modified chemical composition of the cement have a positive effect on the microstructure of the concrete. This concrete achieves a steel-like compressive strength of over 200 N / mm^2 in the laboratory, even up to 500 N / mm^2. Polymer additives act as "spacers," liquefying and stabilizing cement suspensions, which are used to develop self-compacting concretes. This concrete has improved flowability, adapt optimally to the formwork, and compact the concrete excessively.

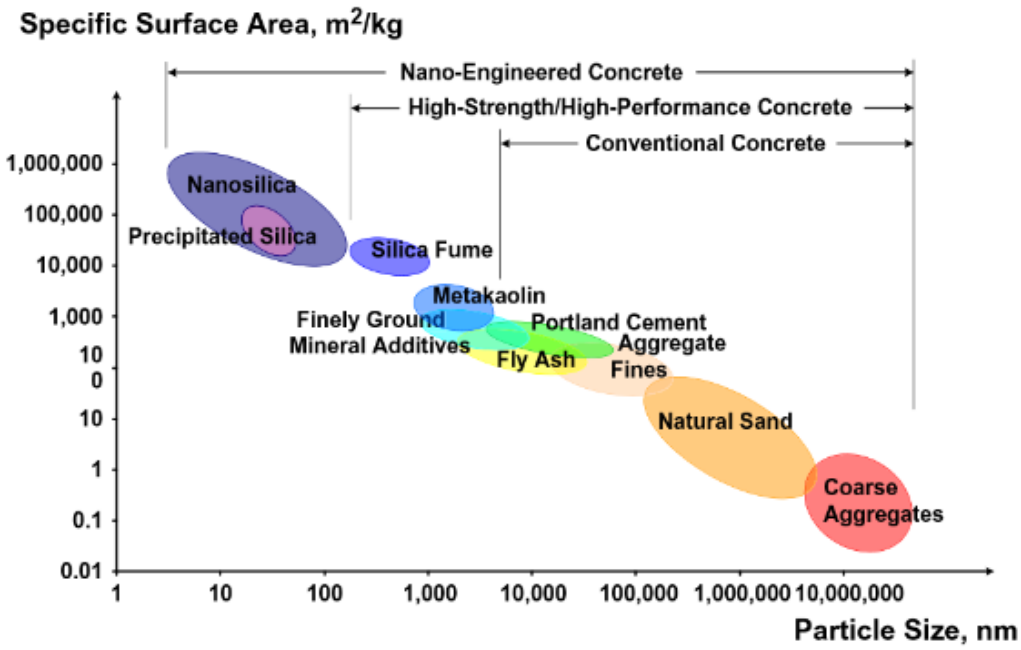


Fig. 4 – Particle size and specific surface area related to concrete materials [18], [19]

The recent study on adding nano-SiO_2 in cement and concrete showed that both materials had better particle-packing performance [20]. The nano-SiO_2 acted as an effective nanofiller for the hydration of calcium silicate in the cement. This nano type can also function as an intense binder that positively changes the cohesion of cement.

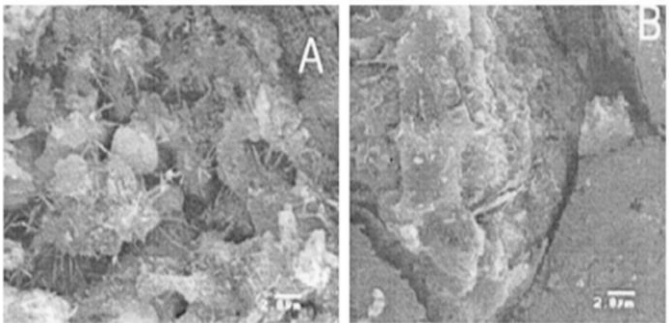


Fig. 5 – SEM plain micrographs (*A*) and cement paste coated with nano-silica (*B*) [21]

5. Steel

Steel is an essential and widely used material in the building Industry. The strength, corrosion resistance, and welding capability were putting steel on top of the building properties and leveled it as an essential component of the construction industry. The use of nanotechnology in steel helps to improve its physical properties. Today's steel design to prevent fatigue or damage to steel structures due to its periodic loading, the application of three laws limiting the allowable stress reduction, reducing the service life, and increasing regular visits, applying these restrictions will have a significant impact on costs. And proper use of materials.

Further stresses on the steel cause cracks that lead to rupture and fatigue in the steel. Adding copper nanoparticles to steel reduces its surface roughness and reduces stress resulting in fatigue cracks. Vanadium (V) and molybdenum (Mo) nanoparticles solve the problems of delay rupture associated with high-strength screws, reduce the brittle effect of hydrogen, and improve the quality of steel microstructures. The combination of magnesium and calcium nanoparticles increases the hardness of the weld.

6. Energy and lighting technology

Nanotechnologies offer many possibilities for increasing efficiency and developing new types of energy generation and lighting technology in buildings. Due to the low energy consumption, the adjustable color design, and the compact design, LEDs, which are based on nanoscale semiconductor layers, are increasingly being used to set architectural accents in building lighting and facade design. When using colored light, the LED has the advantage that only the required spectrum is generated. On the other hand, with different light sources, coatings or filters are required to produce color, which can absorb 80% of the light produced. In the long term, there are options for new types of lighting technology based on organic light-emitting diodes, which have the potential for large-area, flexible, and electronically controllable multicolor lamps and could thus enable future applications such as luminous wallpapers. The vision of a living environment that can be adapted to the residents' mood - whether a virtual South Sea beach or a winter landscape - is now within reach thanks to nanotechnology. Dye solar cells are an example of a new class of solar cells that use dyes for light absorption, similar to photosynthesis in nature. The ultra-fast electron transfer principle between a light-absorbing dye complex and a nanocrystalline electrode made of titanium dioxide particles is used.

The greatest challenge for the marketing of dye solar cells lies in their long-term stability for outdoor applications. An airtight seal and a carefully optimized chemical composition of the electrolyte in dye solar cells are required to achieve this goal. The

solar efficiency that can be achieved with dye modules in the short and medium-term is 4–5% and thus still well below the efficiency of approximately 15% of conventional solar modules. For a market launch, the specific application advantages of the dye solar cell such as semi-transparency, decorative structuring or combination with electrochemical elements must be implemented. Therefore, the first possible applications are seen in the areas of facades, skylights, sunroofs, and automobiles. Due to the increasing requirements concerning more efficient energy conversion and the trend towards decentralized energy supply, fuel cell systems will also play an essential role in building technology in the future. Here, high-temperature fuel cells are desirable because they allow combined heat and power (CHP) systems to be implemented with a high degree of overall efficiency. The electrical power generation ranges from 1 to 5 kW for single and multi-family houses up to several 100 kW for industrial systems.

Conclusion

Nanotechnology promises significant advances in various scientific and industrial fields, including the construction industry. This technology has provided many opportunities to strengthen the construction industry's competition, such as faster productivity, reliability, more desirable design, cost-effectiveness, and sustainability. Nanotechnology is helpful in various building parts, including skeletons, facades, building systems, and interior design. Using nanotechnology in the building industry has led to the production and availability of multi-functional building materials with high efficiency and added value while improving the quality, design, and durability of building materials as well as ensuring energy effectiveness. Moreover, this technology has been useful to optimize and increase the performance of existing technologies and introduce a new set of approaches and functions that have not existed before the advent of nanotechnology. Therefore, nanotechnology is a practical novelty and innovative approach in the construction industry, leading to material quality, energy savings, and economic savings.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Bhushan B. Springer Handbook of Nanotechnology / B. Bhushan, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010. P. 1-2.
2. Olar R. Nanomaterials and Nanotechnologies for Civil Engineering / R. Olar // Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy 2011. No 4. – P. 109-118.
3. Serrano E. Nanotechnology for sustainable energy / E. Serrano, G. Rus, J. G. Martínez // Renewable and Sustainable Energy Reviews 2009. No 13. – P. 2373-2384.
4. Igarashi K. Nanotechnology for new industry creation and lifestyle creation / K. Igarashi // AIST Tsukuba, 2011. P. - 1-25.
5. Nasrollahzadeh M. S. An Introduction to Green Nanotechnology / M. S. Nasrollahzadeh, S.M. Sajadi, Z. Issaabadi // Interface Science and Technology 2019. No 28. – P. 1-27.
6. Zhu W. Application of nanotechnology in construction: Summary of a state-of-the-art report / W. Zhu, P. Bartos, A. Porro // Material Structures 2004. No 37. - P. 649–658.
7. Pacheco-Torga T. Nanotechnology: Advantages and drawbacks in construction and building materials / T. Pacheco-Torga, S. Jalali // Construction and Building Materials 2011. No 25. – P. 582-590.
8. Bartos P.J.M. Nanotechnology in Construction: A Roadmap for Development / P.J.M. Bartos // Nanotechnology in Construction 2009. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. P. 15-26.
9. Whitby R.L.D. Nanomaterials and the Environment: Global impact of tiny materials / R.L.D. Whitby // Smart technologies for water remediation 2013. Brighton. P. 1-2.
10. Leydecker S. Nano materials in architecture, interior architecture, and design / S. Leydecker, H. Kroto, M. Veith et al. 2008. P. 11-12.
11. Khandve V.P. Nanotechnology for Building Material / V.P. Khandve // International Journal of Basic and Applied Research 2013. No 4. – P. 146-151.
12. Mauro J.C. Glass: The Nanotechnology Connection / J.C. Mauro, A.J. Ellison, L.D. Pye // International Journal of Applied Glass Science 2013. No 4. – P. 64-75.
13. Minko N.I. Nanotechnology in glass materials (review) / N.I. Minko, V.M. Nartsev // Glass and Ceramics 2008. No 65. P. 148–153.
14. Teizer J. Nanotechnology and its impact on construction: bridging the gap between researchers and industry professionals / Teizer J. Venugopal M. Teizer W. et al. // Construction Engineering Managanagement. 2011. No 138. – P. 594–604.
15. Svintsov A.P. Effect of nano-modified additives on properties of concrete mixtures during winter season / A.P. Svintsov, E.L. Shchesnyak, V.V. Galishnikova et al. // Construction and Building Materials. 2020. No. 237. - 117527.
16. Svintsov A.P. Dataset on the effect of nano-modified additives of concrete mixes technological properties for winter concreting / A.P. Svintsov, V.V. Galishnikova, N.A. Stashevskaya // Data in Brief. 2020. No. 31. 105756.
17. Urkhanova L.A. Mechanical and electrical properties of concrete modified by carbon nanoparticles / L.A. Urkhanova, S.L. Buyantuev, A.A. Urkhanova et al. // Magazine of Civil Engineering. 2019. No 8. - P. 163-172.
18. Sobolev K. How nanotechnology can change the concreteworld:Part 1 / Sobolev K., Ferrada-Gutiérrez, M. // American Ceramic Society Bulleti. 2005. No 84. – P. 14–17.
19. Sanchez F. Nanotechnology in concrete – A review / F. Sanchez, K. Sobolev // Construction and Building Materials. 2010. No 11. P. 2060-2071.
20. Patel A. An overview on the application of Nanotechnology in the construction industry / A. Patel, H. Rathod, N. Sharma // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering, and Technology. 2013. No 2. - P. 6094–6098.
21. Salemi N. Effect of nanoparticles on the durability of fiber-reinforced concrete pavement / N. Salemi, K. Behfarnia // Construction Building Materials. 2013. No 48. – P. 934–941.

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.021

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СРЕДУ ИСТОРИЧЕСКИХ ГОРОДОВ ТАДЖИКИСТАНА

Научная статья

Мирзоева Ф.З.*

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, Душанбе, Республика Таджикистан

* Корреспондирующий автор (firuza.1[at]mail.ru)

Аннотация

В городах Таджикистана рассматриваются экологические и природно-климатические проблемы, включая охрану окружающей среды, изучено воздействие негативных факторов на городское пространство, архитектурные памятники, здания и сооружения. Приведены приёмы рационального использования ландшафтного озеленения и благоустройства в городской среде.

Ускорение физического разрушения объектов культурного наследия антропогенными и природными факторами представляет угрозу их «выживанию» и возможности быть переданными будущим поколениям. Диспропорция между опасностями, которые надо предотвратить, и средствами, используемыми для этих целей, постоянно возрастает.

Рассматриваются методы устранения негативных факторов влияющих на разрушения архитектурных памятников и исторических городов, улучшение качества городской среды, изменение силуэта и масштаба застройки, применением новых строительных материалов и технологий, где возникают проблемы охраны и использования культурного наследия, сохранения исторических центров городов и кварталов исторической застройки Таджикистана.

Ключевые слова: город, среда, ландшафт, природа, негативные воздействия, градостроительство.

ON THE IMPACT OF NATURAL AND CLIMATIC FACTORS ON THE ENVIRONMENT OF THE CITIES OF HISTORICAL SIGNIFICANCE IN TAJIKISTAN

Research article

Mirzoeva F.Z.*

Tajik Technical University named after Academician M. S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

* Corresponding author (firuza.1[at]mail.ru)

Abstract

The study examines environmental and climatic problems, including environmental protection as well as the impact of negative factors on urban space, architectural monuments, buildings, and structures in the cities of Tajikistan. The authors of the study provide methods of rational use of landscaping in an urban environment.

The acceleration of the physical deterioration of the objects of cultural heritage by anthropogenic and natural factors threatens their longevity and the possibility of being passed on to future generations. The disparity between the dangers to be prevented and the means used for these purposes is constantly increasing.

The article assesses the methods of eliminating the negative factors affecting the destruction of architectural monuments and historical cities, improving the quality of the urban environment, changing the silhouette and scale of urban developments with the help of new building materials and technologies, where there are problems of protecting and using cultural heritage as well as preserving the historical centers and regions of historical importance in the cities of Tajikistan.

Keywords: city, environment, landscape, nature, negative impacts, urban planning.

Таджикистан – горный регион и в основном обладает сложным рельефом, живописной природой и благодатной почвой. Природная среда, в котором жили люди со временем изменялась с появлением архитектуры и ее эволюционного развития. Предки нашего народа были профессиональными мастерами и специалистами по возведению сооружений и рациональному использованию ландшафтных элементов с сохранением рельефной местности и растительности в организации территориальной планировки селений и городов (рис. 2).

Сегодня более 25% жителей Республики Таджикистана размещены в долинах и предгорных равнинах на высотах от 1000 до 2000 м над уровнем моря. С увеличением естественного прироста населения, численность республики в 2016 году составляла 8551,2 тыс. человек, а в 2018 году уже достигла 9 миллионов человек [1, С. 6-9]. Можно сделать вывод, что плотность населения Таджикистана высока и составляет 60 человек на 1 квадратный километр площади поэтому необходимо организация комплексного решения градостроительного преобразования городов и сел. За 2020 год численность населения увеличилось на 2,1% и составило 9 млн. 316,8 тыс. человек [2] (рис.1).

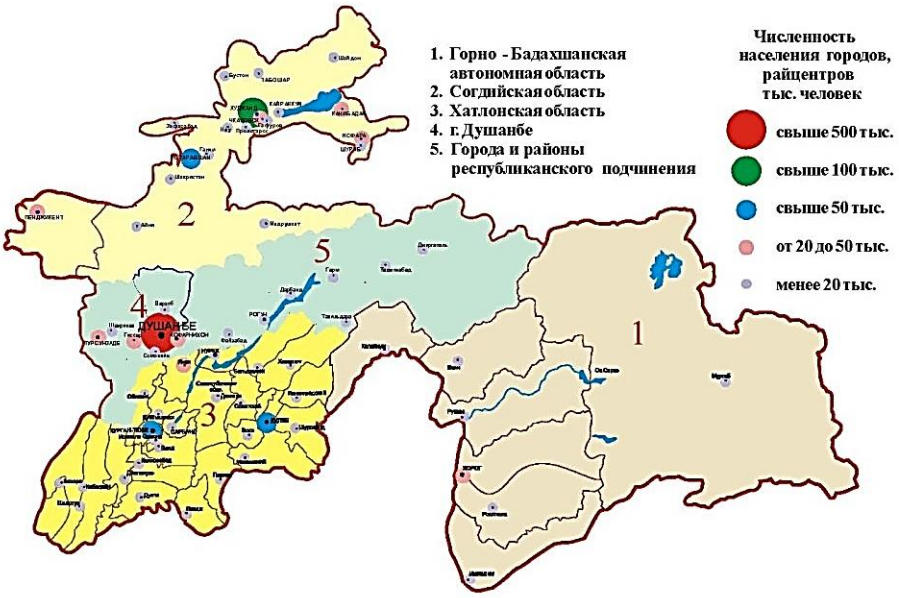


Рис. 1 – Республика Таджикистан – административно-территориальное деление

Рис. 2 – Республика Таджикистан – особо охраняемые природные территории

Приток населения усложняет городскую агломерацию, поэтому правильное решение организации ландшафтной среды при проектировании городов особо влияет на окружающий мир, и тем самым на становление и развитие духовной культуры и качества жизни человека. Основными направлениями при проектировании ландшафтной организации территорий являются: ландшафтно-экологические, социально-экономические и инженерно-технические. Помимо этого, необходимо правильно использовать рельеф, что позволит создать разнообразные, неожиданно сменяющиеся друг друга виды. Кроме этого, эффективно выглядят расположение на высших отметках малые архитектурные формы - павильоны, беседки и другие сооружения, склоны холмов можно использовать для устройства амфитеатров.

Рассматривая и анализируя исторические материалы с древних времён народов Средней Азии, можно сделать вывод, что, предки таджикского народа, также занимались благоустройством садов, изобретая, разрабатывая новые методы и тенденции, они жили в стране с жарким климатом и природным ландшафтом. Жаркий, климат в значительной мере определил собой традиционную и самобытную планировку жилых и общественных зданий в Таджикистане. В ней с самых ранних времен важное значение приобрели сады, затененные дворы и айваны (веранды), хаузы (водоемы). При этом, особая роль отводилась зеленым насаждениям, ландшафтному благоустройству, которые должны были быть максимально приближены к месту жительства человека и тем самым производить положительный экологический эффект.

Также древние правители государств воздвигали огромные парадизы (парки, сады) на фоне красивого горного пейзажа с осуществлением зеленых аллей, цветочного оформления вдоль пешеходных и проезжих дорог [3, С. 30-41].

В настоящее время зеленые насаждения активно очищают атмосферу городской среды, кондиционируют воздух, снижают уровень шумов, препятствуют возникновению неблагоприятных ветровых режимов. а также благотворно действует на эмоциональное состояние человека (рис. 3). Наличие в городах зеленых насаждений является одним из наиболее благоприятных экологических факторов. Виды городских зеленых насаждений:

- лесопарковый защитный пояс (ЛПЗП);
- лесопарки (зеленые клинья ЛПЗП);

- парки;
- скверы;
- бульвары;
- зеленые насаждении вдоль транспортных артерий;
- газоны;
- цветники;
- внутриквартальные зеленые насаждения;
- декоративные насаждения вдоль стен зданий (миксбордер);
- вертикальное озеленение фасадов зданий.

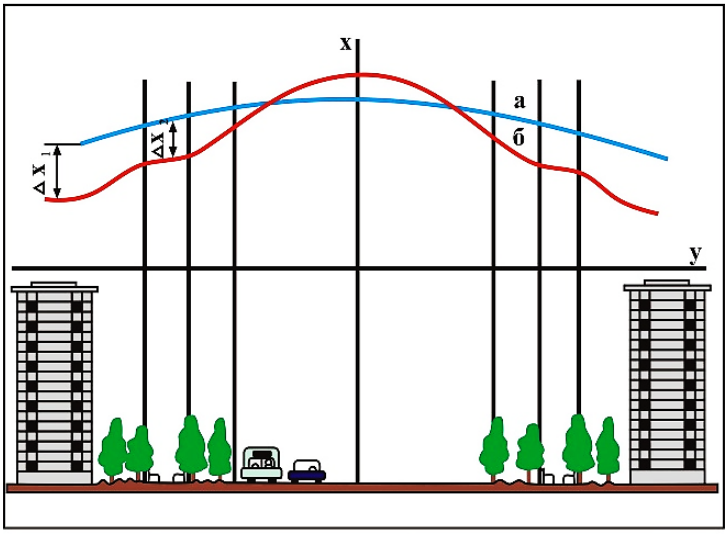


Рис. 3 – Воздействие озеленения на уровень загрязнения воздуха:
а – уровень загрязнения без озеленения; *б* – с озеленением

Зелень и зеленый цвет растений лечебно действуют на зрительную систему, не утомляет даже при длительном наблюдении. Зеленое строительство, вертикальное озеленение, обводнение благотворно воздействуют на городскую среду в районах новостроек, а также исторических мест, так как городские территории относятся к числу наиболее важных экологических мест в городах. При этом зеленые насаждения должны быть максимально приближены к месту жительства человека или к рабочему месту только тогда они могут оказывать максимальный положительный экологический эффект (табл.1).

Таблица 3 – Примерные нормы озеленения на одного жителя

Объекты озеленения	Крупные города, м^2	Средние города, м^2	Малые города, м^2	Города-курорты, м^2
Общегородские	10	7	10	20
Жилые районы	6	6	–	12
Итого:	16	13	10	32

Таджикистан имеет исторические города (Худжанд, Истаравшан, Пенджикент, Исфара - Согдийская область; Гиссар – районы республиканского подчинения; Курган-Тюбе, Куляб – Хатлонская область; Хорог – ГБАО – Горно-Бадахшанская автономная область и др.) с древней культурой и традициями, уникальными живописными местами и природой (рис.4).

Рис. 4 – Республика Таджикистан – деления территории и раположения городов

В настоящее время сохранение культуры и искусства в нашей стране имеет огромную роль в достижении мира и социального сплочения. Охранять культурное историческое достояние от воздействия природно-климатических и негативных факторов в исторических городах Таджикистана с каждым годом приобретает все большее значение, так как невнимание и равнодушность к ним приводит разрушению и постепенному уничтожению.

В городах и районах страны памятники национального искусства, архитектуры, культурные ценности, историко-культурные местности и другие недвижимые ценности, находящиеся под охраной республиканского законодательства, как и другие компоненты среды, страдают от стихийных природных бедствий, воздействия антропогенного загрязнения и других форм негативного воздействия человеческой деятельности.

По результатам исследований городов Таджикистана (Худжанд, Истаравшан, Исфара, Канибадам, Пенджикент, Гиссар, Курган-Тюбе, Куляб) выявилось, что загрязнение атмосферного воздуха является самой серьезной экологической проблемой, оно наносит значительный ущерб здоровью горожан, памятникам культуры, материально-техническим объектам, расположенным в городе (зданиям, объектам, сооружениям и др.) и зеленым насаждениям. Также, другими негативными факторами являются, природные явления (селевые потоки, солнечная радиация, сильные ветры, землетрясения, пыльные бури), которые отрицательно воздействуют на окружающую среду городов, памятники архитектуры, современные постройки, приносят большой ущерб социально-экономическим вопросам городского населения. Есть несколько примеров отрицательного влияния климатических факторов на архитектуру, памятники культурного наследия, названных выше городов, где отмечается насыщенность воздуха в городах и селениях углекислотой, несовершенством методики и практики археологических работ (проникновение сырости и влаги через шурфы, солевые накопления, разница температур в скрытых и обнаженных частях, солнечная радиация). Все эти негативные природные факторы разрушают конструкцию, где под воздействием сыпятся и трескаются поверхности архитектурных деталей, солнечные перегревы в летнее время обесцвечивают поверхность мозаик и майолик наружных стен, куполов, строительных материалов памятников культуры, большой ущерб приводит толчки землетрясения на исторические здания и сооружения разрушая конструкцию постройки и деталей. С этими негативными природными явлениями связаны разрушения памятников по условиям атмосферы (разрушения стен и шурфы пола мечети Олим Додхо в городе Пенджикенте; сырость и проникновения влаги, образования трещин и почвенно-грунтовые соли в помещениях мавзолея Мир Саида Али Хамадони в Кулябе; повреждение декора кирпичной кладки путем раскрытия трещин, сопротивление солевой и физической коррозии мечети - мавзолея Ходжа Машхад, мечети Ходжа Нахшрон, минарета рядом с базаром города Пенджикента и др.) [4, С. 374].

Памятники архитектуры необходимо сохранять и защищать от воздействия природно-климатических, негативных факторов разрушения, связанных с процессами естественного старения, которые ускоряют:

- неблагоприятные климатические условия (высокая влажность, длительность залегания снега и льда); стихийные бедствия (наводнения, паводки, подтопления, оползни, ураганы, ветры); геологические и гидрологические особенности (структурно неустойчивые грунты);
- атмосферные загрязнения;
- неконтролируемая урбанизация и движение автотранспорта;
- неуместное новое строительство в исторической среде;
- неправильный режим эксплуатации зданий;
- пожары и др.

Процессы естественного старения определяются жизненными циклами зданий и строительных материалов, пределами безопасности эксплуатации конструкций.

Отсутствие должной защиты зданий и сооружений от погодных условий, техногенной нагрузки на грунты и конструкции, загазованность и кислотные дожди создают кумулятивный эффект. Активизируются процессы коррозии металлов и карбонизации штукатурных слоев, грунтовые воды разрушают фундаменты, биологические поражения распространяются на деревянные конструкции. Из-за воздействия экологических и антропогенных факторов разрушаются объекты культурного наследия.

Анализ показал, что последствия загрязнения воздушного бассейна городов особенно остро проявлялись в ухудшении состояния конструктивных материалов архитектурных памятников и исторических парковых ансамблей. Выбросы производственных объектов и автотранспорта способствуют быстрому загрязнению фасадов и в сочетании с атмосферными осадками формируют химически агрессивную среду, вызывающую разрушение материалов, штукатурки, лепнины, покрасочных слоев и пр.

Природно-климатические факторы и другие экологические проблемы городов, связанные с чрезмерной концентрацией на сравнительно небольших территориях населения, транспорта и промышленных предприятий, с образованием антропогенных ландшафтов, очень далеких от состояния экологического равновесия. При этом 60-70% газового загрязнения дает автомобильный транспорт. Более активная конденсация влаги приводит к увеличению осадков на 5-10%. Самоочищению атмосферы препятствует снижение на 10-20% солнечной радиации и скорости ветра.

При малой подвижности воздуха тепловые аномалии над городом охватывают слои атмосферы в 250-400 м, а контрасты температуры могут достигать 5-6 °С. Именно с ними связаны температурные инверсии, приводящие к повышенному загрязнению, туманам и смогу [5].

В улучшении окружающей среды городов, в том числе города Душанбе столицы республики, и в первую очередь его воздушного бассейна, большая роль принадлежит крупным озелененным территориям в наиболее необходимых для этого частях городов. Эти территории в основном расположены в городской части и недалеко от пригородной зоны [6].

Необходимо вести строгий контроль за обеспечением сохранности озелененных территорий особенно в южном направлении, согласно генплану, где нужно разработать благоустройство и расширить их в нужных местах города Душанбе и за его пределами.

Для благоустройства города и ее организации необходимо более четкое решение подземных коммуникаций на территории центра города и на его периферия, а также решение ландшафтно-озелененной системы, обводнения. Также необходимо сохранить историческую среду, сложившуюся на протяжении веков, градостроительную планировку, архитектурный облик и особый национальный колорит городов, которыми можно привлечь местных жителей, туристов и гостей столицы.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Статистический сборник «Численность населения Республики Таджикистан на 1 января 2016 года». – С. 6-9.
2. Нормативные документы // Агентство по статистике при президенте Республики Таджикистан. – [Электронный ресурс]. – URL: https://www.stat.tj/ru/regulations. (дата обращения: 12.04.2021)
3. Эшонкулов У. История парадиза Древнего Согда / У. Эшонкулов. –Душанбе: «Эҷод», 2007. – С. 30-41.
4. Мирзоева Ф.З. Сохранение архитектурных памятников исторических городов Таджикистана / Ф.З. Мирзоева, М.М. Касиров // Материалы II научно-практической конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Таджикская наука–ведущий фактор развития общества». Часть 1. 26-27 апреля 2017 г. - С. 374.
5. Города и окружающая среда. Космические исследования. - М., Мысль, 1982.
6. Таджикистан: Окружающая среда. Комитет по охране окружающей среды при Правительстве Республики Таджикистан. Экологический доклад, 2018.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Statisticheskijj sbornik «Chislennost' naselenija Respubliki Tadzhikistan na 1 janvarja 2016 goda» [Statistics Collection "Population of the Republic of Tajikistan as of January 1, 2016]. - p. 6-9. [in Russian]
2. Normativnye dokumenty [Normative documents] // Agentstvo po statistike pri prezidente Respubliki Tadzhikistan [Agency for Statistics under the President of the Republic of Tajikistan]. – [Electronic resource]. –URL: https://www.stat.tj/ru/regulations (accessed: 12.04.2021) [in Russian]
3. Eshonkulov U. Istorija paradiza Drevnego Sogda [The History of the Paradise of Ancient Sogdia] / U. Eshonkulov. - Dushanbe: "Eçod", 2007, pp. 30-41 [in Russian]
4. Mirzoeva F. Z. Sokhranenie arkhitekturnykh pamjatnikov istoricheskikh gorodov Tadzhikistana [Preservation of Architectural Monuments of Historical Cities of Tajikistan] / F. Z. Mirzoeva, M. M. Kasirov // Materialy II nauchno-prakticheskojj konferencii studentov, magistrantov i aspirantov «Tadzhikskaja nauka–vedushhijj faktor razvitija obshhestva». Chast' 1. 26-27 aprelja 2017 g. [Proceedings of the II Scientific and Practical Conference of Students, Undergraduates and Postgraduates "Tajik Science-a Leading Factor in the Development of Society". Part 1. April 26-27, 2017], p. 374 [in Russian]
5. Goroda i okruzhajushhaja sreda. Kosmicheskie issledovanija [Cities and the Environment. Space Research]. - M., Mysl, 1982 [in Russian]
6. Tadzhikistan: Okruzhajushhaja sreda. Komitet po okhrane okruzhajushhejj sredy pri Pravitel'stve Respubliki Tadzhikistan. Ehkologicheskijj doklad, 2018. [Tajikistan: Environment. Committee on Environmental Protection under the Government of the Republic of Tajikistan. Environmental Report, 2018] [in Russian]

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ / AGRICULTURAL SCIENCES

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.022

ВЛИЯНИЕ ГОСПОДДЕРЖКИ НА РАЗВИТИЕ МОЛОЧНОГО СКОТОВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ ИВАНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Научная статья

Баринова Е.А.[1, *], Колганов А.Е.[2]

[1, 2] Ивановская государственная сельскохозяйственная академия имени Д.К. Беляева, Иваново, Россия

* Корреспондирующий автор (igsha1[at]mail.ru)

Аннотация

В настоящей статье автором произведен анализ влияния мер государственной поддержки на развитие агропромышленного комплекса на примере молочного скотоводства Ивановской области. В работе изучены статистические данные по размеру средств, выделяемых из федерального и регионального бюджетов на развитие агропромышленного комплекса и молочного скотоводства Российской Федерации и Ивановской области. Продемонстрировано влияние господдержки на развитие задействованных в молочном производстве сельскохозяйственных предприятий всех форм хозяйствования. Выделены ключевые проблемные аспекты государственной поддержки молочного производства в Ивановской области, предложены направления их нивелирования за счет конкретных мероприятий.

Ключевые слова: молочное скотоводство, господдержка, сельское хозяйство, Доктрина продовольственной безопасности, Ивановская область. конкурентоспособность.

THE IMPACT OF STATE SUPPORT ON THE DEVELOPMENT OF DAIRY CATTLE BREEDING IN IVANOVO OBLAST

Research article

Barinova E.A.[1, *], Kolganov A.E. [2]

[1, 2] D.K. Belyaev Ivanovo State Agricultural Academy, Ivanovo, Russia

* Corresponding author (igsha1[at]mail.ru)

Abstract

The article analyzes the impact of state support measures on the development of the agro-industrial complex based on the dairy cattle breeding in Ivanovo Oblast. The study examines statistical data on the number of funds allocated from the federal and regional budgets for the development of the agro-industrial complex and dairy cattle breeding in the Russian Federation and Ivanovo Oblast. Also, the study demonstrates the influence of state support on the development of agricultural enterprises involved in dairy production of all forms of management as well as highlights the key problematic aspects of the state support of dairy production in the area under study and proposes the directions of their elimination through specific measures.

Keywords: dairy cattle breeding, state support, agriculture, Food Security Doctrine, Ivanovo Oblast, competitiveness.

Российская Федерация входит в пятерку крупнейших в мире производителей молока и молочной продукции. В 2020 году общий валовой объем производства молока в отечественных хозяйствах всех организационно-правовых форм хозяйствования достиг 34,2 млн тонн, а рост производства с 2015 по 2020 годы составил 5,4%.

Повышение продуктивности в молочном скотоводстве является одной из приоритетных задач агропромышленного комплекса страны. Об этом говорится в Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы [3].

Важность обеспечения роста производства молока и побочного продукта молочного скотоводства – говядины подчеркивается и в Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденной на период с 2020 года по 2030 год. Согласно документу, уровень само обеспечения страны по продуктам молочного скотоводства должен составлять не менее 90% [2].

Несмотря на ежегодный прирост производства молока до настоящего времени российским животноводам не удалось достичь прогнозных показателей. В 2019 году уровень самообеспечения продуктами молочного скотоводства составил 81,8%, в 2020 году - 84,6%. Эти показатели на 8,2% и 5,4 % соответственно ниже порогового значения, предусмотренного Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации на 2010-2020 годы [1, С.20].

Для достижения необходимого уровня продовольственной безопасности России в отношении молока и молочной продукции необходимы рост объемов и расширение мер государственной поддержки молочного скотоводства. Это осуществляется за счет активизации развития сельскохозяйственных организаций и малых форм хозяйствования в виде крестьянско-фермерских хозяйств, личных подсобных хозяйств, сельскохозяйственных потребительских кооперативов, малых сельскохозяйственных организаций и пр. [8]. Подобные меры дают положительный результат. Проиллюстрируем это утверждение на примере Ивановской области путем анализа состояния агропромышленного комплекса в целом и молочного скотоводства в частности.

В Ивановской области действует целевая программа по развитию агропромышленного комплекса. На рисунке 1 продемонстрирован объем ресурсного обеспечения программы по развитию агропромышленного комплекса за период 2014-2020 годы. В рамках программы, пик инвестиционной активности наблюдался в 2014 году - 745717,2 тыс.рублей. 50,1% общих ассигнований составляла государственная поддержка. В период с 2015 по 2018 годы инвестиции сократились практически вдвое. В 2019 – 2020 годы поддержка сельхозпроизводителей молочного скотоводства составила 406556,8 и 419626,8 тысяч рублей соответственно.

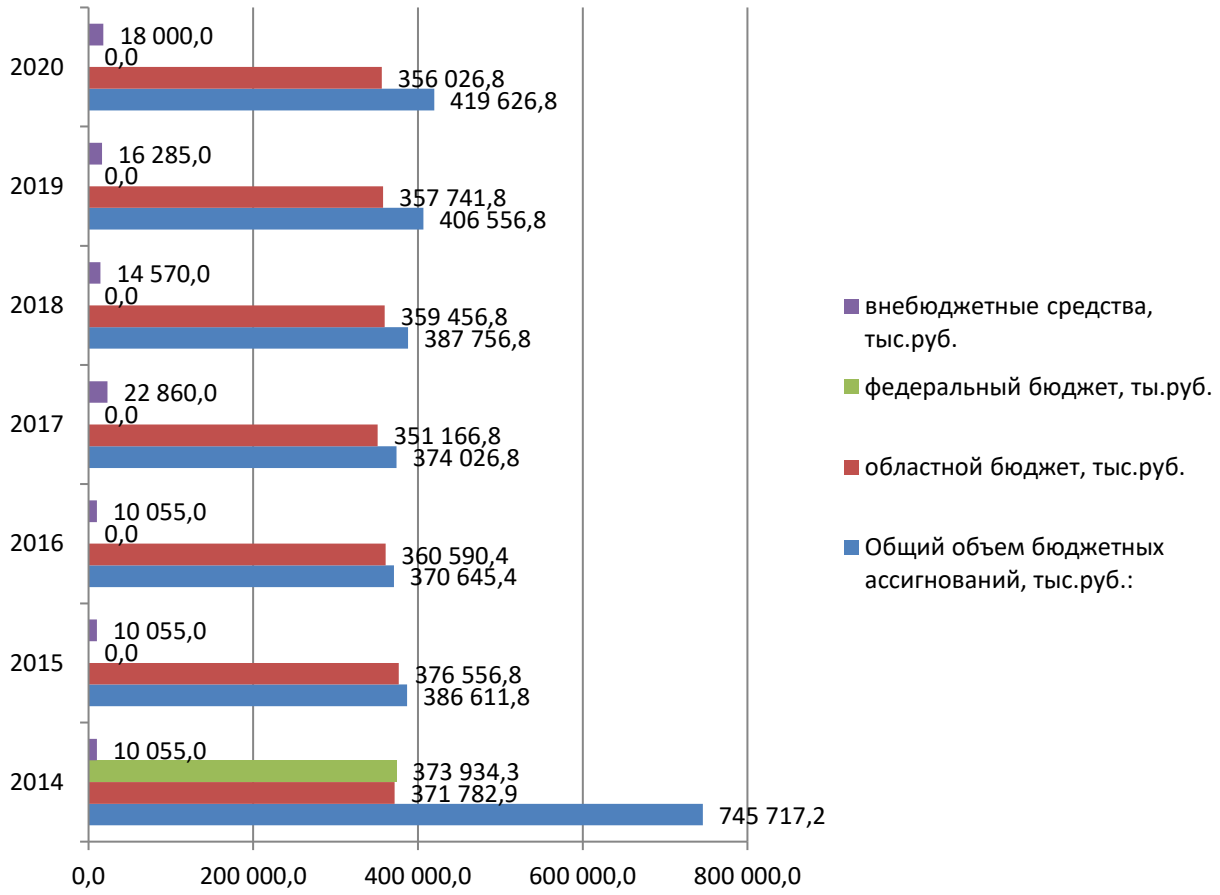


Рис. 1 – Объем ресурсного обеспечения программы по развитию агропромышленного комплекса за 2014-2020 годы

За анализируемый период наблюдается рост валового надоя молока 150,8 тыс. тон в 2014 году до 163,4 тыс. тонн в 2017 году. В 2018-2019 голах наблюдается снижение валового объема надоя молока и до уровня середины 2014 г. По итогам 2019 года объем производства молока в Ивановской области составил 153,5 тыс. тонн. Сведения демонстрируют низкую эффективность государственной поддержки за счет её нестабильности. Данные Ивановостата за январь — сентябрь 2020 года говорят, что производство молока в хозяйствах всех категорий Ивановской области составило 120,6 тыс. тонн, увеличившись по сравнению с тем же периодом 2019 года на 2,1%.

Продуктивность в молочном скотоводстве в сельскохозяйственных организациях увеличена до 6490 кг (+6% к уровню 2018 года) за счет племенных хозяйств [8, С. 39-41]. На период 2019 года в Ивановской области племенная база молочного скотоводства в области представлена 25 племенными хозяйствами с поголовьем крупного рогатого скота 27,7 тыс. голов (в том числе 11,5 тыс. коров). Удельный вес племенных коров в общем маточном поголовье крупного рогатого скота составляет 44,8%

В Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации на 2020-2030 годы продекламировано, что государственная поддержка остается одним из наиболее важных факторов устойчивого развития молочного скотоводства. С 2020 года меры государственной поддержки отрасли претерпели некоторые изменения, в частности, за счет усиления стимулирования производства молочной продукции в агропромышленном комплексе страны.

Для сельскохозяйственных организаций и малых форм хозяйствования, задействованных в молочном скотоводстве, до 2030 года сохраняются следующие меры господдержки:

- выдача льготных краткосрочных кредитов;
- выдача льготных инвестиционных кредитов;
- возмещение до 25% части прямых понесенных затрат на строительство и модернизацию животноводческих комплексов;
- «стимулирующая субсидия» [4, С. 22-26].

В 2020 году в Российской Федерации выделено 34 млрд рублей в виде «компенсирующей субсидии», направленной на поддержку отдельных подотраслей животноводства и растениеводства. В этот вид поддержки вошли 7,1 млрд рублей субсидий на 1 кг реализованного и/или отгруженного на собственную переработку молока, 7 млрд. рублей субсидий на поддержку приобретения племенного молодняка и пр. В дополнение к указанным федеральным мерах государственной поддержки молочного скотоводства в Ивановской области предпринимаются меры по стимулированию экспорта молока и молочной продукции в рамках проекта «Экспорт продукции АПК» [6, С.18].

Выполнение целевого индикатора по молочной продуктивности коров во многом обеспечено за счет деятельности племенных хозяйств региона в области молочного скотоводства. Надой молока в расчете на одну корову в сельскохозяйственных организациях увеличивается за счет следующих факторов:

- укрепление кормовой базы;
- увеличение охвата искусственным осеменением маточного поголовья крупного рогатого скота;

- использование высокого генетического потенциала быков-улучшателей [9].

Прирост производства молока обеспечивается за счет увеличения молочной продуктивности коров в наиболее эффективных хозяйствах. Основную долю прироста продуктивности дают племенные хозяйства, поголовье в которых стабильно. Выполнение показателя обусловлено работой эффективных хозяйств, которые своими объемами производства компенсируют снижение продуктивности дойного стада в низкорентабельных хозяйствах. Свыше 6 тонн молока от одной коровы получено в 27 сельскохозяйственных организациях Ивановской области, что составляет 1/3 от общего количества хозяйств, занимающихся в регионе молочным скотоводством [5, С. 15-17].

В последние годы в молочном скотоводстве Ивановской области усиливается роль малых форм хозяйствования, которые получают развитие благодаря государственной поддержке. Для иллюстрации этого утверждения приведем результаты состояния молочного скотоводства в регионе в 2014-2019 годах, оперируя находящимися в свободном доступе статистическими данными о валовом надое молока (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели работы отрасли животноводства Ивановской области в 2015-2020 годах

Наименование показателя / Единица измерения	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Валовой надой молока в хозяйствах всех категорий Ивановской области / тысяч тонн	150,9	154,5	159,8	163,4	155,5	153,7
в том числе в крупных сельскохозяйственных организациях Ивановской области / тысяч тонн	149,5	116,5	121,1	126,0	123,4	120,3

Примечание: по данным Ивановостата [7]

Анализ приведенных в таблице сведений позволяет сделать вывод, что за 2020 год валовый надой молока в хозяйствах всех категорий снизился на 5,94% в сравнении с 2018 годом. Такой спад произошел главным образом по причине общей стагнации всех сегментов экономики в период коронавируса. Однако, за 6 лет реализации Программы по развитию агропромышленного комплекса, возросло количество субъектов малого предпринимательства в данной сфере. Их валовой надой молока увеличился с 0,5 до 33,4 тысяч тонн.

Падение эффективности мер государственной поддержки молочного производства в Ивановской области в период 2018-2019 гг., связанными с факторами, мешающими эффективной реализации основных направлений планомерного развития молочного скотоводства в регионе. К ним относится: слабая обеспеченность оборудованием и сельскохозяйственной техникой; недостаток инвестиций на восстановление и развитие основных производственных средств предприятий молочного скотоводства Ивановской области. Господдержка на единичное предприятие молочного скотоводства в сравнении с США, Китаем, ЕС в 6,10 и 14 раз соответственно. Положение усугубляет неразвитость рынков аграрного и продовольственного сектора Ивановской области, искусственное регулирование цен на продукцию, отсутствие возможности привлечения к обучению и последующей работе молодых специалистов, что приводит к миграции жителей сел и деревень.

С целью обеспечения развития сектора молочного скотоводства Ивановской области можно рекомендовать использование организационных мероприятий, содержащих в себе значительный неиспользованный потенциал роста данного рынка:

1. Повышение степени доступности средств сектора молочного скотоводства Ивановской области.
2. Обеспечение условий экономической и инвестиционной безопасности предприятий сектора молочного скотоводства усиление степени развития активности молочного скотоводства с целью создания и поддержания благоприятного инвестиционного климата.
3. Формирование и создание оптимальных условий образования кластеров с целью развития инфраструктуры аграрного и продовольственного сектора Ивановской области в целом, а также молочного скотоводства, в частности.
4. Активное использование передовых методов и форм организации бизнеса сектора молочного скотоводства Ивановской области, к примеру, агрофраншиз в качестве альтернатив потребительским кооперативам.
5. Обеспечение процессов структурной трансформации развития сектора молочного скотоводства Ивановской области в вектор выпуска товаров и продуктов здорового питания:

- органическая (экологически чистая),
- гипоаллергенная,
- калорийна,
- богата микроэлементами и минералами,
- обогащенная витаминами и биодобавками,
- натуральная и естественно-природная пища.

6. Интеграция отдельных производителей с целью создания более мощной материально-технической и сбытовой базы.
7. Предоставление предприятиям молочного скотоводства налоговых льгот.

Заключение

Среди наиболее важных проблем развития сегмента молочного скотоводства Ивановской области через инструменты государственного влияния является: неоднородность отраслей, слабая обеспеченность оборудованием и сельскохозяйственной техникой, сложность выхода на рынки сбыта, высокая конкурентоспособность, слабая социальная развитость деревень и сел.

Комплексные меры гос. поддержки сектора молочного скотоводства Ивановской области направлены на увеличение производительности продукции молочного скотоводства, поддержку доходности сельскохозяйственных отечественных производителей, повышение рентабельности и конкурентоспособности отрасли за счет производства безопасного высококачественного молока, соответствующего отечественным и мировым стандартам, увеличение объема отечественного производства молочной продукции для удовлетворения объема внутреннего потребления в размере не менее 90%. Достижение указанных целей обеспечит продовольственную независимость Российской Федерации за счет налаженного самообеспечения продуктами, в том числе и молочного происхождения.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Указ Президента Российской Федерации от 30 января 2010 г. № 120 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» : РГ. [Электронный ресурс]. – URL: https://rg.ru/2010/02/03/prod-dok.html. (дата обращения: 13.04.2021)
2. Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» : ГАРАНТ. инф.-прав.портал. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.garant.ru/ products/ ipo/prime/doc/73338425/.(дата обращения: 13.04.2021)
3. Постановление Правительства РФ от 14 июля 2012 г. № 717 «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 - 2020 годы». : ГАРАНТ. инф.-прав.портал. [Электронный ресурс]. – URL: https://clck.ru/MCyx3 (дата обращения: 13.04.2021)
4. Распоряжение Правительства РФ от 30 ноября 2010 г. № 2136-р «Об утверждении Концепции устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2020 года» : ГАРАНТ. инф.-прав. портал. [Электронный ресурс]. – URL: https://www.garant.ru/ products/ipo/prime/doc/2073544/ (дата обращения: 13.04.2021)
5. Департамент сельского хозяйства и продовольствия Ивановской области. Показатели работы отрасли животноводства. Оригинал файла набора открытых данных. [Электронный ресурс]. – URL: https://apk.ivanovoobl.ru/otkrytye-dannye/pokazateli-raboty-otrasli-zhivotnovodstva/ (дата обращения: 13.04.2021)
6. Департамент сельского хозяйства и продовольствия Ивановской области. Аналитическая информация о ситуации в агропромышленном комплексе Ивановской области по состоянию на 06.11.2020. [Электронный ресурс]. – URL: http://apk.ivanovoobl.ru/upload/medialibrary/deb/на%20сайт%2006.11.2020.pdf (дата обращения: 13.04.2021)
7. Ивановская область. Статистический ежегодник. 2019 : Статистический сборник / Ивановостат – Иваново, 2019. – 486 с.
8. Кавардаков, В.Я. Современное состояние и основные сдерживающие факторы технологического развития молочного скотоводства РФ / В.Я. Кавардаков, И.А. Семененко, А.Ф. Кайдалов и др. // Бюлл. науч. работ Белгородской ГСХА, 2015. – Вып. 35. – С. 58-63.
9. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. В департаменте сельского хозяйства и продовольствия Ивановской области подвели итоги работы за 2019 год. [Электронный ресурс]. – URL: https://clck.ru/Ua2PF (дата обращения: 13.04.2021)
10. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Ивановской области. Производство основных видов продукции животноводства в хозяйствах всех категорий Ивановской области в январе – октябре 2020 года. [Электронный ресурс]. – URL: https://clck.ru/Ua2QC (дата обращения: 13.04.2021)

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 30 janvarja 2010 g. № 120 «Ob utverzhdenii Doktriny prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii» [Decree of the President of the Russian Federation of January 30, 2010 No. 120 "On the approval of the Doctrine of food Security of the Russian Federation"] : RG. [Electronic resource]. – URL: https://rg.ru/2010/02/03/prod-dok.html. (accessed: 13.04.2021) [in Russian]
2. Ukaz Prezidenta RF ot 21 janvarja 2020 g. № 20 «Ob utverzhdenii Doktriny prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii» [Decree of the President of the Russian Federation No. 20 of January 21, 2020 "On the Approval of the Doctrine of Food Security of the Russian Federation"]: GARANT. inf.-rights.the portal. [Electronic resource]. – URL: https://www.garant.ru/ products/ ipo/prime/doc/73338425/.(accessed: 13.04.2021) [in Russian]
3. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 14 ijulja 2012 g. № 717 «O Gosudarstvennoj programme razvitija sel'skogo hozjajstva i regulirovanija rynkov sel'skohozjajstvennoj produkcii, syr'ja i prodovol'stvija na 2013 - 2020 gody» [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 717 of July 14, 2012 "On the State Program for the Development of Agriculture and regulation of markets for agricultural products, raw materials and food for 2013-2020"]. : GARANT. inf. - rights.the portal. [Electronic resource]. - URL: https://clck.ru/MCyx3 (accessed: 13.04.2021) [in Russian]
4. Rasporjazhenie Pravitel'stva RF ot 30 nojabrja 2010 g. № 2136-r «Ob utverzhdenii Koncepcii ustojchivogo razvitija sel'skih territorij Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda» [Order of the Government of the Russian Federation No. 2136-r of November 30, 2010 "On Approval of the Concept of sustainable development of rural territories of the Russian Federation for the period up to 2020"]: GARANT. inf.-rights. the portal. [Electronic resource]. - URL: https://www.garant.ru/ products/ipo/prime/doc/2073544/ (accessed: 13.04.2021) [in Russian]
5. Departament sel'skogo hozjajstva i prodovol'stvija Ivanovskoj oblasti. Pokazateli raboty otrasli zhivotnovodstva. Original fajla nabora otkrytyh dannyh [Department of Agriculture and Food of the Ivanovo region. Indicators of the livestock industry. The original file of the open data set]. [Electronic resource]. - URL: https://apk.ivanovoobl.ru/otkrytye-dannye/pokazateli-raboty-otrasli-zhivotnovodstva/ (accessed: 13.04.2021) [in Russian]
6. Departament sel'skogo hozjajstva i prodovol'stvija Ivanovskoj oblasti. Analiticheskaja informacija o situacii v agropromyshlennom komplekse Ivanovskoj oblasti po sostojaniju na 06.11.2020 [Department of Agriculture and Food of the

Ivanovo region. Analytical information on the situation in the agro-industrial complex of the Ivanovo region as of 06.11.2020]. [Electronic resource]. - URL: https://clck.ru/Ua2az (accessed: 13.04.2021) [in Russian]

7. Ivanovskaja oblast'. Statisticheskij ezhegodnik. 2019 : Statisticheskij sbornik [Ivanovo region. Statistical Yearbook. 2019: Statistical collection] / Ivanovostat-Ivanovo, 2019 – - 486 p. [in Russian]

8. Kavardakov. V. J. Sovremennoe sostojanie i osnovnye sderzhivajushhie faktory tehnologicheskogo razvitija molochnogo skotovodstva RF [Current status and key constraints of technological development of dairy cattle breeding of the Russian Federation] / V. Ya Kavardakov, I. A. Semenenko A. F. Kaidalov et al. // Bjull. nauch. rabot Belgorodskoj GSHA [bull. nauch. works Belgorod state agricultural Academy], 2015. – Vol. 35. – P. 58-63. [in Russian]

9. Ministerstvo sel'skogo hozjajstva Rossijskoj Federacii. V departamente sel'skogo hozjajstva i prodovol'stvija Ivanovskoj oblasti podveli itogi raboty za 2019 god [The Ministry of agriculture of the Russian Federation. The Department of Agriculture and Food of the Ivanovo Region summed up the results of work for 2019]. [Electronic resource]. - URL: https://clck.ru/Ua2PF (accessed: 13.04.2021) [in Russian]

10. Territorial'nyj organ Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Ivanovskoj oblasti. Proizvodstvo osnovnyh vidov produkcii zhivotnovodstva v hozjajstvah vseh kategorij Ivanovskoj oblasti v janvare – oktjabre 2020 goda [Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Ivanovo Region. Production of the main types of livestock products in farms of all categories of the Ivanovo region in January-October 2020]. [Electronic resource]. - URL: https://clck.ru/Ua2QC (accessed: 13.04.2021) [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.023

РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА НА БАЗЕ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Научная статья

Пономарева А.В.[1], Бунькова Н.П.[2, *]
[1] ORCID: 0000-0003-2602-0088;
[2] ORCID: 0000-0002-7228-4693;
[1, 2] Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

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

Аннотация

Проанализированы особо охраняемые природные территории (ООПТ), расположенные в границах Свердловской области. Отмечается, что на территории области выделена 531 ООПТ, из них пять – федерального, 506 – областного и 20 - местного значения. Общая площадь ООПТ по состоянию на 31.12.2020 г. Составляет 1349,5 тыс. га, или 6,94% от общей площади Свердловской области.

Благодаря предпринимаемым усилиям Министерства природных ресурсов и экологии Свердловской области на ООПТ активно развивается туристско-рекреационная инфраструктура и ведется эколого-просветительская деятельность. Указанное способствует развитию экологического туризма без вреда для лесных экосистем.

Особое внимание в работе уделяется созданию экологических маршрутов, оснащенных объектами туристической инфраструктуры. Протяженность уже созданных указанных маршрутов 114 км.

Ведется работа по благоустройству лесных парков. На базе Шарташского лесного парка начато создание рекреационно-оздоровительного кластера.

Рекреационная привлекательность ООПТ, на которых осуществляется экологический туризм, обеспечивается поддержанием надлежащего санитарного состояния и проведением массовых эколого-просветительных акций, а также созданием условий для отдыха лиц с ограниченными возможностями здоровья. Указанное обеспечило пребывание на ООПТ в 2020 г. более 215 тыс. зарегистрированных отдыхающих при 1,0 тыс. человек в 2004 г.

На основании выполненного анализа состояния ООПТ в Свердловской области предлагаются пути развития экологического туризма и совершенствования организации работ на ООПТ.

Ключевые слова: Свердловская область, особо охраняемая природная территория, экологический туризм, природные парки, устойчивость насаждений, рекреация.

DEVELOPMENT OF ECOTOURISM ON THE BASIS OF PROTECTED AREAS OF RUSSIA

Research article

Ponomareva A.V.[1], Bunkova N.P.[2, *]
[1] ORCID: 0000-0003-2602-0088;
[2] ORCID: 0000-0002-7228-4693;
[1, 2] Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

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

Abstract

The article analyzes specially protected natural areas located within the borders of Sverdlovsk Oblast. It is noted that 531 protected areas are allocated in the region, five of which are federal, 506 are regional and 20 are local. Total area of protected areas as of 31.12.2020 amounts to 1349.5 thousand hectares, or 6.94% of the total area of Sverdlovsk Oblast.

Thanks to the efforts of the Ministry of Natural Resources and Ecology for Sverdlovsk Oblast, the tourist and recreational infrastructure in these areas is actively developing and environmental and educational activities are being carried out, which contributes to the development of ecotourism without harming forest ecosystems.

Special attention is paid to the creation of ecological routes with tourist infrastructure facilities. The length of the already created routes is 114 km and

the work to improve the forest parks is underway. The creation of a recreation cluster on the basis of the Shartash Forest Park has begun.

The recreational attractiveness of protected areas where ecotourism is carried out is ensured by maintaining proper sanitary conditions and conducting mass environmental education campaigns as well as creating recreation conditions for persons with disabilities. This ensured the stay of more than 215 thousand registered vacationers in the protected areas in 2020, compared to 1.0 thousand people in 2004.

Based on the analysis of the state of protected areas in Sverdlovsk Oblast, the authors propose ways to develop ecotourism and improve the organization of work in protected areas.

Keywords: Sverdlovsk oblast, specially protected natural area, ecological tourism, natural parks, stability of plantings, recreation.

Введение

Сохранение биологического разнообразия является важнейшей задачей современности. Известно [1], [2], что интенсивное антропогенное воздействие приводит ежегодно к сокращению видов флоры и фауны. В целях минимизации отрицательных последствий различных видов деятельности человека на биологическое разнообразие принимаются нормативные документы [3] и разрабатываются рекомендации [4], [5], [6].

Одним из путей сохранения биологического разнообразия является создание особо охраняемых природных территорий (ООПТ) со специальным режимом лесопользования. Именно создание системы ООПТ позволяет сохранить уникальные ландшафты, включая девственные лесные насаждения.

Особо следует отметить, что на некоторых видах ООПТ допускается рекреационное лесопользование и, в частности, экологический туризм. Последнее позволяет познакомить граждан с уникальной природой России, проводить обширную работу по экологическому воспитанию населения. В то же время общеизвестна [7], [8]. [9] проблема рекреационного лесопользования, которая обусловлена риском снижения устойчивости насаждений при повышенных рекреационных нагрузках. Данные вопросы довольно подробно освещены в научной литературе [10], [11], [12].

Площадь ООПТ в разных регионах Российской Федерации существенно различается, поэтому, на наш взгляд, представляет интерес анализ ООПТ в конкретном субъекте РФ, каковой является Свердловская область, оценка их современного состояния, а также объем работ, выполняемых по организации экологического туризма.

Целью исследований являлось изучение современного состояния ООПТ в Свердловской области и разработка на этой основе предложений по их развитию и расширению возможностей для экологического туризма и просвещения.

Объекты и методика исследований

В качестве объектов исследований были использованы ООПТ, расположенные на территории Свердловской области. При этом в ходе исследований были проанализированы литературные и ведомственные материалы, а также результаты натурных исследований и материалы пробных площадей, заложенных в соответствии с методическими рекомендациями [13], [14].

Особое внимание при проведении исследований было уделено анализу мероприятий по созданию туристско-рекреационной инфраструктуры и проведению массовых эколого-просветительских акций.

Результаты и обсуждение

Исследования показали, что на территории Свердловской области в настоящее время выделена 531 особо охраняемая природная территория (ООПТ). При этом 5 из них имеют федеральное, 506 – областное и 20-местное значение. Общая площадь ООПТ по состоянию на 31.12.2020 г. Составляет 1349,5 тыс. га или 6,94% от общей площади Свердловской области.

Естественно, что основное количество ООПТ не предназначено для широкого рекреационного использования. Из всех категорий ООПТ Свердловской области основной площадкой для развития организованного экологического туризма и просвещения служат природные парки, такие как Оленьи ручьи, Баженовские места и Река Чусовая. Особо следует отметить также территории лесных парков, расположенных в окрестностях города Екатеринбурга и природно-минералогический заказник «Режевской». Общая площадь занятая ООПТ, где активно развивается экологический туризм составляет чуть больше 1% площади Свердловской области.

В последние 2 года, в соответствии с поручением губернатора Свердловской области, на базе ООПТ – Шарташский лесной парк активно создается рекреационно-оздоровительный кластер.

Уполномоченным органом в сфере организации, функционирования и упразднения ООПТ областного значения является Министерство природных ресурсов и экологии Свердловской области. В целях непосредственного управления ООПТ создано 7 областных природоохранных учреждений (ГБУ СО): природный парк «Оленьи ручьи», природно-минералогический заказник «Режевской», природный парк «Река Чусовая», природный парк «Бажовские места», «Дирекция по охране государственных зоологических охотничьих заказников и охотничьих животных в Свердловской области», «Шарташский лесной парк» и ГКУ СО «Дирекция лесных парков».

В целях развития экологического туризма указанными учреждениями ведется работа сразу в нескольких направлениях.

Активно развивается туристско-рекреационная инфраструктура: так на сегодняшний день на территориях природных, лесных парков и заказника «Режевской» функционируют следующие элементы благоустройства: административно-туристский центр, туристские стоянки, стационарные места размещения туристов (базы), пункты регистрации, оборудованные туристские маршруты, оборудованные места для сбора мусора, входные группы, кордоны, мосты – переправы, оборудованные костровища, автомобильные стоянки, малые архитектурные формы и пр.

Кроме того, по границам природных и лесных парков, заказника на основных маршрутах и местах отдыха установлены аншлаги, указатели, информационные щиты, таблички и другие информационные объекты.

На ООПТ разработаны и обустроены 15 экологических маршрутов. Общая протяженность маршрутов с различной степенью оснащенности объектами туристической инфраструктуры составляет около 114 км.

Ряд объектов был запущен в последние несколько лет:

- в 2015 году в природном парке «Оленьи ручьи» был оборудован маршрут «Долина Аракаевских пещер», протяженностью около 8 км, расположенный в южной части парка. Маршрут оснащен лестницами, мостками, отсыпанной дорожно-тропиночной сетью, беседками и настилами (рис. 1);

- в 2016 году, в рамках подготовки к году ООПТ был обустроен экологический маршрут имени Н.И. Кузнецова в Шувакишском лесном парке. Это пеший маршрут протяженностью 5 км. Обустройство тропы включает в себя отсыпанную дорожно-тропиночную сеть, мостки, 5 туристских стоянок для отдыха, 3 спортивные площадки, информационные объекты и указатели;

- самое масштабное благоустройство начиная с 2018 года выполняется на территории Шарташского лесного парка: в 2020 году завершено строительство велодорожки, технологического проезда и технологического тротуара, общей протяженностью 4,2 км (от ул. Кленовая до ул. пос. Пески). Кроме того, осуществлено благоустройство территории Шарташского лесного парка: 2 детские площадки, универсальная площадка, баскетбольная площадка, 3 волейбольные площадки, 2 поля для мини-футбола, 8 спортивных станций, площадка для маунтинбайка, площадка для выгула собак,

сенсорная площадка, палеопарк, каменоломня «Каменная чаша», лодочная пристань, тропа здоровья (5,6 км), экологическая тропа (0,8 км), тропиночная сеть (4,6 км).

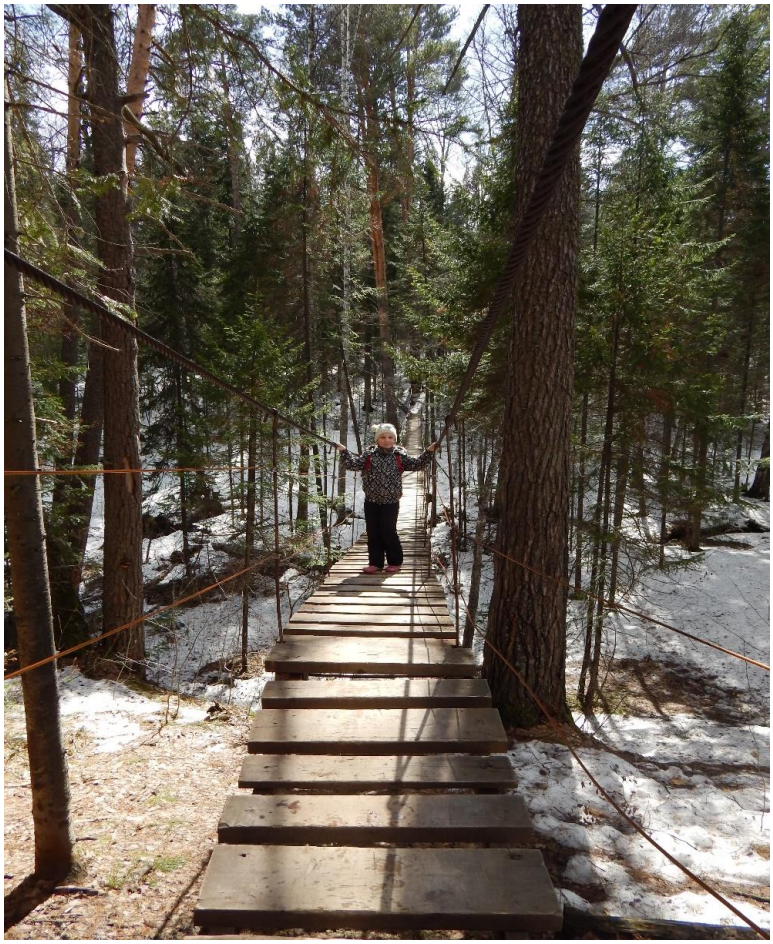


Рис. 1 – Висячий мост на ООПТ природный парк «Оленьи ручьи»

Начато создание рекреационно-оздоровительного кластера на базе Шарташского лесного парка и прилегающих к нему территорий, сроки завершения работ – 2023 год.

Шарташский лесной парк является не единственным лесным парком, где начато развитие рекреационной инфраструктуры. В 2020 году разработана проектно-сметная документация на благоустройство еще 3 лесных парков: Юго-Западный (дорожно-тропиночная сеть, входные группы, зоны отдыха, спортивные зоны), Калиновский лесной парк (обустройство более 1,6 км дорожно-тропиночной сети), Мало-Истокский лесной парк (входная группа, огораживание, обустройство аллеи и дорожно-тропиночной сети, 3 площадки для отдыха, пляжная зона, контейнерная площадка).

В 2021 году начнется благоустройство Калиновского (срок завершения 2021 год) и Мало-Истокского (срок завершения – 2022 год) лесных парков.

Еще одной новой точкой развития экологического туризма стал природно-минералогический заказник «Режевской», силами которого в настоящее время создается рекреационно-познавательная зона «Липовский геологический парк».

Расстояния от входа в парк до обустроенных точек с великолепными природными видами составляют от 700 метров до 2,5 километров. Самая удаленная точка — это смотровая площадка, куда доходят только самые подготовленные посетители, поскольку тропа идет в гору.

Вход в Липовский геологический парк был открыт в мае 2020 года, однако создание благоустроенной зоны для комфортного отдыха жителей Свердловской области продолжается. В настоящее время идет обустройство геолого-минералогической тропы вокруг Липовского карьера, протяженность которой составит в будущем более 4 километров. Тропа будет обустроена туристскими стоянками и информационными щитами.

Вторым направлением по развитию экологического туризма является поддержание надлежащего санитарного состояния ООПТ, путем организации работ по уборке и вывозу мусора с территорий ООПТ. Уборка мусора ежегодно осуществляется на территории лесных парков города Екатеринбурга, природных парков и заказника «Режевской».

Так же осуществляется акарицидная обработка наиболее посещаемых мест в лесных парках города Екатеринбурга и в местах проведения массовых эколого-просветительских мероприятий в природных парках «Река Чусовая», и «Оленьи ручьи».

Третье направление - ежегодно осуществляется выпуск печатных изданий, посвященных экологии и ООПТ Свердловской области. Так за последние несколько лет было выпущено около 12 наименований печатных изданий, в том числе 6 изданий, включая Красную книгу Свердловской области было выпущено в 2019 году и 1 в 2020. Кроме книг осуществляется выпуск буклетов, листовок, магнитных постеров на природоохранную тематику.

Широко практикуется выпуск сувенирной продукции для поощрения участников различных массовых экологических акций, фестивалей и использования в качестве памятных подарков на научно-практических мероприятиях, проводимых областными природоохранными учреждениями и Министерством природных ресурсов и экологии Свердловской области.

Огромная работа проводится самими природоохранными учреждениями: это и проведение массовых эколого-просветительских акций, экскурсий, уроков, экспедиций, разработка новых туристских маршрутов, привлечение волонтеров и многое другое. Ежегодно природоохранными учреждениями Свердловской области проводится более 650 таких мероприятий. Многие стали традиционными и любимыми, в частности, фестиваль бега и «Музыка на воде» в Оленьих ручьях, Бажовская верста в природном парке «Бажовские места», фестиваль Чусовая России в природном парке «Река Чусовая» и многие другие.

Руководство ООПТ тесно сотрудничает с организациями, осуществляющими поддержку людей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ). Ежегодно для людей с ОВЗ в ООПТ обустраиваются места кратковременного отдыха (турстоянки, беседки). Так, в 2018 г. Было обустроено 17 таких объектов в 4 ООПТ и еще 10 – в 2019 г. (в 2 ООПТ), 3 – в 2020 г. (в 2 ООПТ). Начато оснащение экологических троп специализированными объектами инфраструктуры. В частности, в 2019 г. Был приобретен и установлен в природном парке «Оленьи ручьи» туалет для людей с ОВЗ, а в 2020 г. В шарташском лесном парке обустроена отдельная спортивная станция для людей с ОВЗ со специализированными тренажерами. В природном парке «Бажовские места» экологический маршрут был оборудован пандусом и дополнительными защитными ограждениями.

В 2017 году между Министерством, природоохранными учреждениями и ГБУ СО «Центр психолого-педагогической, медицинской и социальной помощи «Ресурс» (для детей-инвалидов) было заключено Соглашение о сотрудничестве. В рамках выполнения данного соглашения проведено около 25 совместных мероприятий, в том числе 4 выездных на территории природных парков «Оленьи ручьи», «Бажовские места» и природно-минералогического заказника «Режевской», а также организован сплав по реке Серга. Данная работа проводится на безвозмездной основе в форме социальных экскурсий и будет продолжена в последующие годы.

Так же осуществляется взаимодействие со Свердловским региональным общественным движением инвалидов «Доступная среда всем». Проводятся совместные мероприятия в том числе выездные, составляются перечни и описание маршрутов, адаптированных для использования людьми с ограниченными возможностями здоровья. В рамках данной работы выдаются рекомендации и осуществляется доработка инфраструктуры ООПТ в части повышения ее доступности для всех категорий граждан.

Природный парк «Бажовские места» осуществляет поддержку проекта «Урал без границ: инклюзивная экотропа в природном парке «Бажовские места».

Работа по развитию экологического туризма на ООПТ приносит свои плоды, в частности 2 природных парка Свердловской области «Оленьи ручьи» и «Бажовские места», по оценкам независимых федеральных туроператоров, входят в пятерку лучших природных парков Российской Федерации. Количество зарегистрированных посетителей Свердловских ООПТ составило в 2020 году более 215 тысяч человек. График количества посетителей по годам приведен на рисунке 2.

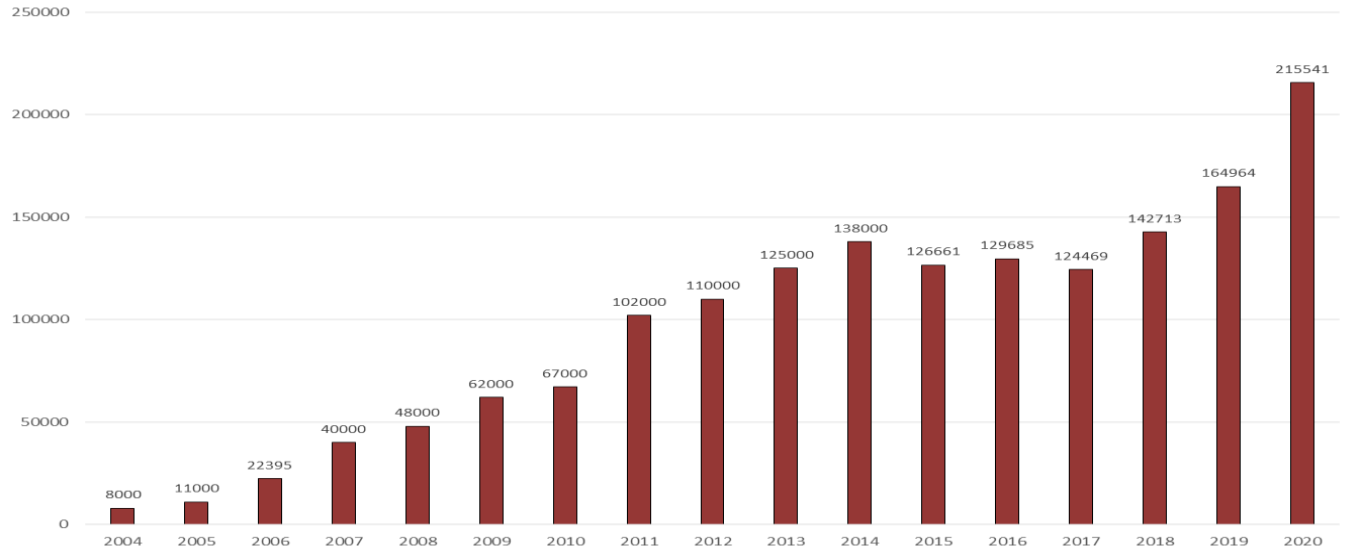


Рис. 2 – Рост количества посетителей ООПТ Свердловской области

Таким образом развитие экологического туризма осуществляется на ООПТ различных категорий, в этот процесс сейчас включаются не только природные парки, где туризм развивался всегда, но и заказники и лесные парки. При создании новых рекреационных зон в ООПТ Министерство природных ресурсов и экологии Свердловской области и природоохранные учреждения руководствуются принципами соблюдения баланса между сохранением и освоением территории.

Выводы и предложения по совершенствованию использования ООПТ для экологического туризма

1. Для ООПТ необходимо разработать нормативно-технические документы по ведению лесного хозяйства. В частности, по омоложению насаждений [15], проведению ландшафтных рубок [16], [17], лесовосстановлению [18] и санитарно-оздоровительным мероприятием.

2. С целью минимизации негативных последствий рекреации необходимо продолжить практику создания оборудованных экологических маршрутов и благоустройства территории.

3. Необходимо ограничить посещаемость ООПТ в период пиковых нагрузок, в частности в природных парках «Оленьи ручьи» и «Бажовские места» с целью недопущения перегрузки туристических маршрутов.

4. Для каждой ООПТ необходимо утвердить на уровне Правительства области размер платы за посещение.

5. Учитывая важное значение ООПТ для сохранения уникальных природных объектов Свердловской области, а также отдыха населения, назрела необходимость увеличения объема финансирования областных природоохранных учреждений.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / Reference

1. Алейников А.А. Полевой определитель ключевых биотопов и объектов, сохраняемых при освоении лесосек на территории Иркутской области / А.А. Алейников, М.В. Семенцова, Т.О. Яницкая. М.: Всемирный фонд дикой природы, 2011. 86 с.

2. Хайретдинов А.Ф. Введение в лесоводство / А.Ф. Хайретдинов, С.В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2011. 202 с.

3. Об охране окружающей среды: Утв. Федеральным законом от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ.

4. Методические рекомендации по сохранению биологического разнообразия при заготовке древесины в лесах Свердловской области / С.В. Залесов, Л.А. Белов, В.А. Бережнов и др. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2019. 21 с.

5. Залесова Е.С. Проблема сохранения биологического разнообразия и ее решение при заготовке древесины / Е.С. Залесова, С.В. Залесов, В.Н. Залесов и др. // Успехи современного естествознания, 2017. № 6. С. 56-60.

6. Задачи сохранения биоразнообразия при заготовке древесины и пути их решения / С.В. Залесов, Е.А. Ведерников, В.Н. Залесов и др. // Аграрный вестник Урала, 2016. № 102 (144). С. 37-40.

7. Данчева А.В. Влияние рекреационных нагрузок на состояние и устойчивость сосновых насаждений Казахского мелкосопочника / А.В. Данчева, С.В. Залесов, Б.М. Муканов. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. 195 с.

8. Бунькова Н.П. Рекреационная устойчивость и емкость сосновых насаждений в лесопарках г. Екатеринбурга / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. 124 с.

9. Опыт рубок обновления в одновозрастных рекреационных сосняках подзоны северной лесостепи / С.В. Залесов, Е.С. Залесова, А.В. Данчева и др. // ИВУЗ «Лесной журнал», 2014. № 6 (342). С. 20-31.

10. Залесов С.В. Корневые и стволовые гнили сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в Нижне-Исетском лесопарке г. Екатеринбурга / С.В. Залесов, Е.В. Колтунов // Аграрный вестник Урала, 2009. № 1 (55). С. 73-75.

11. Залесов С.В. Основные факторы пораженности сосны корневыми и стволовыми гнилями в городских лесопарках / С.В. Залесов, Е.В. Колтунов, Р.Н. Лаишевцев // Защита и карантин растений, 2008, № 2. С. 56-58.

12. Колтунов Е.В. Корневые и стволовые гнили и состояние древостоев Шарташского лесопарка г. Екатеринбурга в условиях различной рекреационной нагрузки / Е.В. Колтунов, С.В. Залесов, А.Ю. Демчук // Аграрный вестник Урала, 2011. № 8 (87). С. 43-46.

13. Данчева А.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения / А.В. Данчева, С.В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. 152 с.

14. Основы фитомониторинга / Н.П. Бунькова, С.В. Залесов, Е.С. Залесова и др. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 90 с.

15. Рубки обновления и переформирования в лесах Урала / Л.П. Абрамова, С.В. Залесов, С.Г. Казанцев и др. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2007. 264 с.

16. Залесов С.В. Состояние и перспективы ландшафтных рубок в рекреационных лесах / С.В. Залесов, Р.А. Газизов, А.Ф. Хайретдинов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2016. № 2 (58). С. 45-47.

17. Залесов С.В. Ландшафтные рубки в лесопарках / С.В. Залесов, А.Ф. Хайретдинов. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2011. 176 с.

18. Рекомендации по лесовосстановлению и лесоразведению на Урале / В.Н. Данилик, Р.П. Исаева, Г.Г. Терехов и др. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотхен. акад., 2001. 117 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Aleinikov A.A. Polevoy opredelitel klyuchevykh biotopov i ob-ektov. sokhranyayemykh pri osvoyenii lesosek na territorii Irkutskoy obla-sti [Field guide to key biotopes and objects preserved during the development of cutting areas on the territory of the Irkutsk region] / A.A. Aleinikov, M.V. Sementsova, T.O. Yanitskaya. Moscow: World Wildlife Fund, 2011. 86 p. [in Russian]

2. Khairetdinov A.F. Vvedeniye v lesovodstvo [Introduction to forestry] / A.F. Khairetdinov, S.V. Zalesov. - Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2011.202 p. [in Russian]

3. Ob okhrane okruzhayushchey sredy: Utv. Federalnym zakonom ot 10 yanvarya 2002 g [On environmental protection: Approved. Federal Law of January 10, 2002] No. 7-FZ. [in Russian]

4. Metodicheskiye rekomendatsii po sokhraneniyu biologicheskogo raz-noobraziya pri zagotovke drevesiny v lesakh Sverdlovskoy oblasti [Methodical recommendations for the preservation of biological diversity during timber harvesting in the forests of the Sverdlovsk region] / S.V. Zalesov, L.A. Belov, V.A. Berezhnov et al. - Yekaterinburg: Ural. state forest-tech. un-t, 2019.21 p. [in Russian]

5. Zalesova E.S. Problema sokhraneniya biologicheskogo raznoobraziya i eye resheniye pri zagotovke drevesiny [The problem of preserving biological diversity and its solution when harvesting wood] / E.S. Zalesova, S.V. Zalesov, V.N. Zalesov, et al. // Uspekhi sovremennogo estestvo-znaniya [Success of modern natural science], 2017. No. 6. P. 56-60. [in Russian]

6. Zadachi sokhraneniya bioraznoobraziya pri zagotovke drevesiny i puti ikh resheniya [Tasks of biodiversity conservation during wood harvesting and ways of their solution] / S.V. Zalesov, E.A. Vedernikov, V.N. Zalesov et al. // Agrarnyy vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals], 2016. No. 102 (144). P. 37-40. [in Russian]

7. Dancheva A.V. Vliyaniye rekreatsionnykh nagruzok na sostoyaniye i ustoychivost sosnovykh nasazhdeniy Kazakhskogo melkosopochnika [The influence of recreational loads on the state and stability of pine plantations of the Kazakh melkosopochnik] / A.V. Dancheva, S.V. Zalesov, B.M. Mukanov. Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2014 195 p. [in Russian]

8. Bunkova N.P. Rekreatsionnaya ustoychivost i emkost sosnovykh nasazhdeniy v lesoparkakh g. Ekaterinburga [Recreational stability and capacity of pine plantations in the forest parks of Yekaterinburg] / N.P. Bunkova, S.V. Zalesov. - Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2016.124 p.

9. Opyt rubok obnovleniya v odnovozrastnykh rekreatsionnykh sosnya-kakh podzony severnoy lesostepi [Experience of renovation felling in recreational pine forests of the same age in the subzone of the northern forest-steppe] / S.V. Zalesov, E.S. Zalesova, A.V. Dancheva et al. // IVUZ «Lesnoy zhurnal» [IVUZ "Forest Journal"], 2014. № 6 (342). P. 20-31. [in Russian]

10. Zalesov S.V. Kornevyye i stvolovyye gnili sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) i berezy povisloy (Betula pendula Roth.) v Nizhne-Isetskom lesoparke g. Ekaterinburga [Root and stem rot of Scots pine (Pinus sylvestris L.) and silver birch (Betula pendula Roth.) In Nizhne-Isetsky forest park in Yekaterinburg] / S.V. Zalesov, E.V. Koltunov // Ag-rarnyy vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals], 2009. No. 1 (55). P. 73-75. [in Russian]

11. Zalesov S.V. Osnovnyye faktory porazhennosti sosny kornevymi i stvolovymi gnilyami v gorodskikh lesoparkakh [The main factors affecting pine root and stem rot in urban forest parks] / S.V. Zalesov, E.V. Koltunov, R.N. Laishevtsev // Zashchita i karantin rasteniy [Plant protection and quarantine], 2008, No. 2. P. 56-58. [in Russian]

12. Koltunov E.V. Kornevyye i stvolovyye gnili i sostoyaniye drevo-stoyev Shartashskogo lesoparka g. Ekaterinburga v usloviyakh razlichnoy re-kreatsionnoy nagruzki [Root and stem rot and the state of tree stands in the Shartash forest park in Yekaterinburg under different recreational load] / E.V. Koltunov, S.V. Zalesov, A. Yu. Demchuk // Agrarian Bulletin of the Urals, 2011. No. 8 (87). P. 43-46. [in Russian]

13. Dancheva A.V. Ekologicheskiy monitoring lesnykh nasazhdeniy re-kreatsionnogo naznacheniya [Ecological monitoring of forest plantations for recreational purposes] / A.V. Dancheva, S.V. Zalesov. - Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2015. 152 p. [in Russian]

14. Osnovy fitomonitoringa [Fundamentals of phytomonitoring] / N.P. Bunkova, S.V. Zalesov, E.S. Za-lesova et al. - Yekaterinburg: Ural. state le-sotchen. un-t, 2020. 90 p. [in Russian]

15. Rubki obnovleniya i pereformirovaniya v lesakh Urala [Cuttings of renewal and reshaping in the forests of the Urals] / L.P. Ab-ramova, S.V. Zalesov, S.G. Kazantsev et al. - Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2007. 264 p. [in Russian]

16. Zalesov S.V. Sostoyaniye i perspektivy landshaftnykh rubok v re-kreatsionnykh lesakh [State and prospects of landscape felling in re-creation forests] / S.V. Zalesov, R.A. Gazizov, A.F. Khairetdinov // Iz-vestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [News of the Orenburg State Agrarian University], 2016. No. 2 (58). P. 45-47. [in Russian]

17. Zalesov S.V. Landshaftnyye rubki v lesoparkakh [Landscape felling in forest parks] / S.V. Zalesov, A.F. Khairetdinov. Yekaterinburg: Ural. state forestry engineering. un-t, 2011. 176 p. [in Russian]

18. Rekomendatsii po lesovosstanovleniyu i lesorazvedeniyu na Ura-le [Recommendations for reforestation and afforestation in the Urals] / V.N. Danilik, R.P. Isaeva, G.G. Terekhov et al. - Yekaterinburg: Ural. State Lesothen. Acad., 2001. 117 p. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.024

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСА ДРЕВЕСИНЫ В ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЯХ СРЕДНЕСИБИРСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ

Научная статья

Вайс А.А.*
ORCID: 0000-0003-4965-3670,
Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

* Корреспондирующий автор (vais6365[at]mail.ru)

Аннотация

Запасом древостоя называется таксационный показатель, характеризующий объем стволовой древесины на единицу площади древостоя. Для проведения исследования заложено 6 пробных площадей в еловых насаждениях на территории Богучанского района. Цель исследований – оптимизация наземных методов оценки запасов в еловых древостоях. В результате проведенных исследований получены следующие выводы.

Из представленных методов определения запаса для преобладающего елового элемента леса применительно к смешанным насаждениям (определение запаса по объемным таблицам; стандартным таблицам; графическими методами с использованием данных модельных деревьев «кривая объемов» и «прямая объемов»; способ средней модели; способ учетных деревьев; эмпирическим формулам) целесообразно использовать метод по формуле Ли-Чан-Гена (отклонение 0 – 11,4 %).

Ключевые слова: ель, запас, методы определения запаса, пробная площадь.

OPTIMIZATION OF METHODS FOR DETERMINING THE GROWING STOCK IN SPRUCE STANDS OF THE CENTRAL SIBERIAN PLATEAU

Research article

Vais A.A.*
ORCID: 0000-0003-4965-3670,
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

* Corresponding author (vais6365[at]mail.ru)

Abstract

Growing stock is an indicator in forest surveys that characterizes the volume of stem wood per unit area of the stock. To conduct the study, 6 test spruce stand areas were laid on the territory of the Boguchansky district. The purpose of the research is to optimize the ground-based methods for estimating stocks in spruce stock. As a result of the conducted research, the following conclusions were obtained.

Of the presented methods for determining the stock for the predominant spruce element of the forest in relation to mixed stands (determining the stock by volume tables; standard tables; graphical methods using data from sample trees "volume curve" and "volume line"; the method of the average model; the method of accounting trees; empirical formulas), it is advisable to use the method according to the Lee-Chang-Gen formula (deviation 0 – 11.4 %).

Keywords: spruce, stock, methods for determining stock, test area.

Введение

В настоящее время наблюдается уменьшение числа исследований в области оценки запасов древесины. Запасом древостоя является таксационный показатель, характеризующий объем стволовой древесины на единицу площади древостоя (м^3/га) [1], [2]. Все большее внимание уделяется биологической продуктивности, углеродному бюджету, детриту и т.д. При этом определение древесного ресурса теряет актуальность. Однако текущая ситуация указывает на необходимость повышения точности оценки запасов для целей интенсивного развития лесного хозяйства [3].

Появляются публикации целенаправленного формирования в выделах запаса крупных сортиментов применительно к смешанным сосновым древостоям [4], [5], [6].

В последние годы получили развитие дистанционные методы определения запасов древесины [7], [8]. Но при этом вопросы к точности такой оценки остаются.

Ряд исследователей констатирует, что запас древесины величина изменчивая и в значительной степени зависит от динамики лесного фонда [9], [10].

В настоящее время не теряет актуальности и проблема повышения продуктивности насаждений [11].

Решение всех этих задачах невозможно без оптимизации методов определения запасов древесины.

Методика исследований

Цель исследований – оптимизация наземных методов оценки запасов в еловых древостоях. В данной работе при обработке материалов пробных площадей использовались следующие основные методы: определение запаса по объемным таблицам; стандартным таблицам; графическими методами с использованием данных модельных деревьев «кривая объемов» и «прямая объемов»; способ средней модели; способ учетных деревьев; эмпирическим формулам.

Тренировочные пробные площади заложены в Невонском лесничестве в Богучанском районе. Для проведения исследования использовалось 6 пробных площадей. Невонское лесничество расположено в восточной части Красноярского края на территории Богучанского и Кежемского муниципальных районов.

Невонское лесничество входит в состав Богучанского района и находится

на левом берегу р. Ангара. По своему положению и климатическим условиям район приравнен к территории Крайнего Севера. Климат резко континентальный, зима (ноябрь-март) холодная, продолжительная.

Результаты исследований

Основные таксационные показатели елового элемента леса Невонского лесничества Богучанского района сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Таксационные показатели пробных площадей

№	№ п/п	Состав	Площадь, га	Полнота	Тип леса	Характеристика подроста	Характеристика подлеска	Тип почв
1/2	1	5ЕП1К1Б	0,64	0,8	Ехвв	-	ШП ИВК СПР средний состав неоднородный, полнота неравномерная	перегнойные, подзолистые, глеевые, супесчаные, сырая
2/2	2	6Е2Б1К1П	0,48	0,8	Ебгол	6Е4Б (30) 3,0 м, 2000 тыс. шт/га, благонадёжный	МЖ СПР густой ягодники голубика 40 %	торфяные, перегнойные, глеевые, супесчаные, влажные
3/2	3	5Е2К1П2Б	0,78	0,7	Ехвв	8Е2Б (30) 2,0 м, 2000 тыс. шт/га, благонадежный	МЖ СПР средний состав неоднородный, размещение подроста групповое	дерново – оподзоленные, супесчаные, свежие
4/3	4	6Е3П1Б	0,68	0,5	Ехвв	-	ШП СПР средний	дерново – оподзоленные, супесчаные, влажные
6/3	5	4Е3П2Б1К	0,52	1,3	Ехвв	-	ШП СПР средний	дерново – оподзоленные, супесчаные, влажные
7/3	6	5Е2К1П2Б	0,68	0,5	Ебгол	6Е4Б (25) 2,0 м, 2000 тыс. шт/га, благонадежный	ИВК густой состав неоднородный, полнота неравномерная	торфяные, перегнойные, глеевые, супесчаные, влажные

Сравнение разных методов определения запаса. Основной частью анализа древостоев являлось сопоставление полученных различными способами результатов по всем шести пробным площадям. Это позволило выбрать наиболее приемлемый метод определения запаса. Для сравнения разных методов оценки запаса за истинное значение применялся метод «прямая объёмов».

В таблице 2 приведены отклонения в процентах, полученных разными методами запасов.

Важным критериям оценки точности определения запаса является занижение или завышение этой величины по сравнению с истинным запасом. В результате можно констатировать, что в сравнении с методом «прямая объемов» по объемным таблицам погрешность оказалась максимальной (сумма без учета знака, 92,2%). Достаточно высокие отклонения запаса наблюдались по способам «средней модели», «учетных деревьев» и «эмпирической формуле» (72,4; 81,0; 78,8 %). При этом метод эмпирической формулы во всех случаях занижал значения запаса. Второй по точности метод «кривая объемов» (45,9%). В этом случае надо учитывать, что для расчета запаса необходим перечет деревьев.

Таблица 2 – Сопоставление результатов расчета запаса различными методами с истинным запасом «прямая объемов»

Пробная площадь	Объемные таблицы	Кривая объёмов	Способ средней модели	Способ учетных деревьев	Эмпирическая формула	Формула Ли-Чан-Гена
%						
1	21,2	-7,1	22,1	5,3	-6,2	8,0
2	-2,9	6,7	6,7	5,7	-14,3	-11,4
3	13,3	-5,6	6,7	12,2	-12,2	6,7
4	13,2	10,3	-10,3	20,6	17,6	0,0
5	22,3	12,6	-19,4	25,2	-16,5	2,9
6	19,3	-3,6	-7,2	12,0	-12,0	2,4
Сумма без учёта знака, %	92,2	45,9	72,4	81,0	78,8	31,4

Для более наглядного отображения отклонений запаса по формуле Ли-Чан-Гена построена цилиндрическая гистограмма, которая демонстрирует пределы отклонений в независимости от знака (0-11,4 %) (рисунок 1).

При анализе полученных отклонений в процентах установлено, что наиболее оптимальным наряду с методом «прямая объемов», является метод определения запаса елового элемента леса по формуле Ли-Чан-Гена (максимальное отклонение по второй пробной площади – 11,4%):

$$M = \Sigma g * (H_{ср.} + 3) * f_{эм.},$$

где fэм - эмпирическое видовое число (теневыносливые породы - 0,42);
∑g - сумма площадей поперечного сечения, м^2 /га;
$H_{ср}$ - средняя высота насаждения, м.

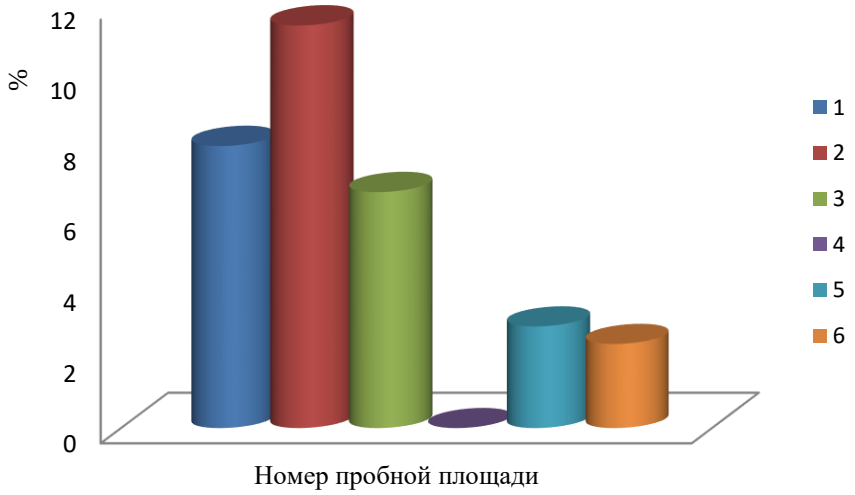


Рис. 1 – Цилиндрическая гистограмма по шести пробным площадям:
1 – пробная площадь № 1; *2* - пробная площадь № 2; *3* - пробная площадь № 3; *4* - пробная площадь № 4;
5 - пробная площадь № 5; *6* - пробная площадь № 6

Заключение

В результате проведенных исследований получены следующие выводы.

- Таксационная характеристика пробных площадей представлена следующими древесными породами: ель обыкновенная *(Picea sylvestris)*, пихта сибирская *(Abies sibirica)*, сосна сибирская кедровая (*Pinus sibirica)*, берёза повислая *(Betula pendula)*. Насаждения имеют относительную полноту – 0,5-1,0.
- Метод по объёмным таблицам показал, что на пробных площадях различие по запасам для елового элемента леса находились в диапазоне от 77 до 137 м^3/га (2,9 – 22,3 %).
- Важным критериям оценки точности запаса является занижение или завышение значения по сравнению с истинным запасом «прямая объёмов». Методы определения запаса показали, что по способу учетных деревьев и формуле Ли-Чан-Гена наблюдалось незначительное завышение запаса, а по методу эмпирической формулы выявлено занижение. По остальным методам сделать определённые выводы не представлялось возможным.
- Из представленных способов расчёта запаса елового элемента леса, применительно к смешанным насаждениям, самым точным является формула Ли-Чан-Гена (отклонение 0 – 11,4 %).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Третьяков, С.В. Лесная таксация: учебное пособие. Ч. 2. Таксация насаждений / С.В. Третьяков, С.В. Коптев, А.А. Бахтин и др. – Архангельск, 2020. – 200 с.
2. Шингарева, Н.И. Определение запаса древостоя различными способами / Н.И. Шингарева // Коняевские чтения: сб. науч. тр. VII Междунар. науч.-практич. конф. – 2020. – с. 50-51.
3. Будник, П.В. Объем заготовки и запас древесины в регионах северного экономического района / П.В. Будник, О.Н. Галактионов О.Н, И.А. Хюннинен // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. ст. XI Междун. науч.-практ. конф. в 3-х ч. – 2018. – с. 134-137.
4. Чижов, Б.Е. Повыдельная оценка возможности формирования древостоев для получения крупных сортиментов / Б.Е. Чижов, А.И. Николаев // Лесохозяйственная информация. – 2012. - №2. – с. 14-18.
5. Данилов, Д.А. Особенности формирования запаса и товарной структуры модальных хвойных древостоев сосны и ели к возрасту спелого насаждения / Д.А. Данилов, Н.В. Беляева, А.В. Грязькин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2018. - №2. – с. 14-18.

6. Нгуен, Т.Л. Распределение запасов насаждений по возрастным группам / Т.Л. Нгуен, Ч.Х. Фан // Научная жизнь. – 2016. - №2. – с. 136-143.

7. Жарко, В.О. Исследование возможностей оценки запасов древесины в лесах Приморского края по данным спутниковой системы PROBA-V / В.О. Жарко, С.А. Барталев, В.А. Егоров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018. – т.15. -№1. – с. 157-168.

8. Чебунин, М.Е. Оценка объема незаконно срубленной древесины с использованием БПЛА / М.Е. Чебунин, А.В. Иванов // Роль аграрной науки в развитии лесного и сельского хозяйства Дальнего Востока: матер. IV Всеросс. науч.-практ. конф. – 2020. – с. 312-316.

9. Демаков, Ю.П. Закономерности изменения площади и запаса сосняков Республики Марий Эл за истекшие полвека / Ю.П. Демаков, А.Е. Смыков // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2009. - №3. – с. 37-46.

10. Мельник, П.Г. Особенности роста и продуктивности экотипов ели в условиях Клинско-Дмитровской гряды / П.Г. Мельник, М.Д. Мерзленко // Вестник Алтайского государственного университета. – 2016. - №7(141). – с. 69-75.

11. Залесов, С.В. Проблема повышения продуктивности насаждений лесостепного Зауралья / С.В. Залесов, И.А. Фрейберг, О.В. Толкач // Сибирский лесной журнал. – 2016. - №3. – с. 84-89.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Tretyakov S. V. Lesnaja taksacija: uchebnoe posobie. Ch. 2. Taksacija nasazhdenij [Forest taxation: a textbook. Part 2. Taxation of plantings] / S.V. Tret'jakov, S.V. Koptev, A.A. Bahtin et al. - Arkhangelsk, 2020 – - 200 p. [in Russian]

2. Shingareva, N. I. Opredelenie zapasa drevostoja razlichnymi sposobami [Determination of the stock of the forest stand in various ways] / N. I. Shingareva // Konjaevskie chtenija: sb. nauch. tr. VII Mezhdunar. nauch.-praktich. konf [Konyaev readings: collection of scientific tr. VII International Scientific and practical Conference] - 2020. - pp. 50-51. [in Russian]

3. Budnik, P. V. Ob#em zagotovki i zapas drevesiny v regionah severnogo jekonomicheskogo rajona [the Amount of harvesting and timber reserves in the Northern economic region] / P. V. Budnik, O. N. Galaktionov, O. N., I. A. Hynninen // Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovanija: aktual'nye voprosy, dostizhenija i innovacii: sb. st. XI Mezhdun. nauch.-prakt. konf. [Fundamental and applied research: current issues, achievements and innovations: collection of articles of the XI International. nauch.-pract. Conf]. in 3 parts – 2018. – p. 134-137. [in Russian]

4. Chizhov, B. E. Povydel'naja ocenka vozmozhnosti formirovanija drevostoev dlja poluchenija krupnyh sortimentov [Powitalny evaluation of the possibility of the formation of the tree stands for large assortments] / B. E. Chizhov, A. I. Nikolaev // Lesohozjajstvennaja informacija [Forestry information]. - 2012. - No. 2. - p. 14-18. [in Russian]

5. Danilov, D. A. Osobennosti formirovanija zapasa i tovarnoj struktury modal'nyh hvojnyh drevostoev sosny i eli k vozrastu spelogo nasazhdenija [Features of the formation of the stock and commodity structure of modal coniferous stands of pine and spruce to the age of ripe planting] / D. A. Danilov, N. V. Belyaeva, A.V. Gryazkin // Izvestiya vyshnykh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. - 2018. - No. 2. - pp. 14-18. [in Russian]

6. Nguyen, T. L. Raspredelenie zapasov nasazhdenij po vozrastnym gruppam [Distribution of plantings stocks by age groups] / T. L. Nguyen, Ch. Kh. Fan // Nauchnaya zhizn [Science life]. - 2016. - No. 2. - pp. 136-143. [in Russian]

7. Zharko, V. O. Issledovanie vozmozhnostej ocenki zapasov drevesiny v lesah Primorskogo kraja po dannym sputnikovoj sistemy PROBA-V [Research of the possibilities of estimating wood reserves in the forests of the Primorsky Territory according to the data of the satellite system PROBA-V] / V.O. Zharko, S.A. Bartalev, V.A. Egorov // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa [Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. - 2018. - vol. 15. - No. 1. - p. 157-168. [in Russian]

8. Chebunin, M. E. Ocenka ob#ema nezakonno srublennoj drevesiny s ispol'zovaniem BPLA [Assessment of the volume of illegally felled wood using UAVs] / M. E. Chebunin, A.V. Ivanov // Rol' agrarnoj nauki v razvitii lesnogo i sel'skogo hozjajstva Dal'nego Vostoka: mater. IV Vseross. nauch.-prakt. konf [The role of agrarian science in the development of forestry and agriculture of the Far East: mater. IV All-Russian Scientific and Practical Conference] - 2020. - pp. 312-316. [in Russian]

9. Demakov, Yu. P. Zakonomernosti izmenenija ploshhadi i zapasa sosnjakov Respubliki Marij Jel za istekshie polveka [Regularities of changes in the area and stock of pine forests of the Republic of Mari El over the past half century] / Yu. P. Demakov, A. E. Smykov // Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Serija: Les. Jekologija. Prirodopol'zovanie [Bulletin of the Mari State Technical University. Series: The Forest. Ecology. Nature management]. - 2009. - No. 3. - pp. 37-46. [in Russian]

10. Melnik, P. G. Osobennosti rosta i produktivnosti jekotipov eli v uslovijah Klinsko-Dmitrovskoj grjady [Features of growth and productivity of spruce ecotypes in the conditions of the Klinsko-Dmitrovskaya ridge] / P. G. Melnik, M. D. Merzlenko // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Altai State University]. – 2016. - №7(141). – pp. 69-75. [in Russian]

11. Zalesov, S. V. Problema povyshenija produktivnosti nasazhdenij lesostepnogo Zaural'ja [The problem of increasing the productivity of plantings in the forest-steppe Trans-Urals] / S. V. Zalesov, I. A. Freyberg, O. V. Tolkach // Sibirskij lesnoj zhurnal [Siberian Forest Journal]. - 2016. - No. 3. - pp. 84-89. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.025

АНАЛИЗ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ХРАНЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ В ОТРАЖЕНИИ НАУКОМЕТРИИ

Научная статья

Голубев А.В.[1], Борисов В.А.[2], Масловский С.А.[3, *], Сотова Е.С.[4], Замятина М.Е.[5], Карпова Н.А.[6] , Смоленинова Н.А.[7]

[1, 3, 5, 6, 7] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Москва, Россия;
[2] Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального научного центра овощеводства, Верея, Россия;
[4] Московский государственный технологический университет "СТАНКИН", Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (Maslowskij[at]i.ua)

Аннотация

Проанализирована публикационная активность исследователей в области хранения сельскохозяйственной продукции ученых России и мира. Приведены данные по количеству опубликованных работ, отраженных в ведущей глобальной наукометрической системе Web of Science, а также их структура. Из всех публикаций по агропродовольственной тематике в мире на долю России приходится 1,6 %. Из общего количества опубликованных работ по данной тематике 9% в мире и в России составляют публикации по проблемам хранения сельскохозяйственной продукции. По количеству этих публикаций за 2010-2020 годы Россия занимает в глобальном рейтинге 19 место. Показана динамика публикаций по проблемам хранения сельскохозяйственной продукции в отдельных странах за последнее десятилетие и отмечены опережающие темпы роста количества российских научных трудов, индексируемых в системе Web of Science. Удельный вес российских публикаций в данной предметной области в глобальном масштабе вырос за 2010-2020 годы в 1,75 раза. Делается вывод о высокой вероятности скорого вхождении России в пятерку стран-лидеров по количеству публикаций о хранении сельскохозяйственной продукции.

Ключевые слова: наукометрические системы, публикационная активность, хранение и переработка сельскохозяйственной продукции.

A SCIENTOMETRIC ANALYSIS OF PRIORITY AREAS OF RESEARCH IN THE FIELD OF AGRICULTURAL STORAGE

Research article

Golubev A.V.[1], Borisov V.A.[2], Maslovsky S.A.[3, *], Sotova E.S.[4], Zamyatina M.E.[5], Karpova N.A.[6], Smoleninova N.A.[7]

[1, 3, 5, 6, 7] Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;
[2] All-Russian Research Institute of Vegetable Production, branch of the Federal Scientific Center of Vegetable Production, Ramensky district, Russia;
[4] Moscow State University of Technology "STANKIN", Moscow, Russia

* Corresponding author (Maslowskij[at]i.ua)

Abstract

The current study conducts an analysis of the publication activity of researchers of in the field of agricultural storage in Russia and the world as a whole. The authors present data on the number of published works reflected in Web of Science, the leading global scientometric system, as well as the structure of these studies. Russia accounts for 1.6 % of all the publications on agri-food topics in the world, while the publications on the problems of agricultural storage make up 9% of the total number of published works on this topic both in the world and in Russia. Based to the number of these publications for the period from 2010 to 2020, Russia ranks 19th in the global ranking. Also, the article demonstrates the dynamics of publications on the problems of agricultural storage in certain countries over the past decade as well as notes the outstripping growth rates of the number of Russian scientific papers indexed in the Web of Science system. Over the 2010-2020 period, the share of Russian publications in this subject area on a global scale increased by 1.75 times. It is concluded that there is a high probability that Russia will soon enter the top five countries in terms of the number of publications on agricultural storage.

Keywords: scientometric systems, publication activity, storage and processing of agricultural products.

Введение

Применение современных методов тематического анализа для аналитической обработки больших объемов информации используется в настоящие время практически во всех сферах человеческой деятельности, в том числе, в наукометрии. Многие наукометрические системы и системы цитирования разрабатывают тематические рубрикаторы для поиска и обработки информации. Важными практическими задачами, которые могут решаться с применением методов тематической классификации, являются: оценка динамики развития тематических направлений в организации, в отдельной стране и в мировой науке в целом; поиск статей по заданной тематике; поиск и оценка авторитетности экспертов; поиск журналов для публикации и другие актуальные задачи [4].

Использование наукометрических методов позволяет достаточно объективно оценить эффективность исследовательской деятельности в той или иной области, несмотря на все их недостатки [5], [10]. Одним из современных научных трендов является определение эффективности исследований посредством системы показателей публикационной активности. Использование наукометрических методов применяется для анализа современного состояния различных областей научной деятельности, в частности информатики [8], образования [3] и др. Количество публикаций и их цитирование во многом служат важными характеристиками ученых, исследовательских коллективов, вузов, научных организаций и даже стран [6]. Значение публикационной активности в настоящее время поднято на

государственный уровень, поскольку по удельному весу трудов учёных той или иной страны, учитываемых в глобальных наукометрических системах, принято судить о состоянии исследований в национальном масштабе. Президентом РФ поставлена задача увеличить удельный вес российских публикаций в объёме мировой научной литературы. Наукометрических систем в мире много, но наиболее значимыми признаны платформы Web of Science (WoS) и Scopus [7]. По отражению в них ведется оценка отдельных ученых и учебных заведений и исследовательских организаций в нашей стране. Более того, оговоренное количество публикаций в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus, стало обязательным условием различных научных конкурсов и выделяемых российских грантов. Большое внимание стало уделяться тому, чтобы российские журналы сами вступали в базы WoS и Scopus [9], т.е., по сути, признавались равными западными, оставаясь в перечне российскими. Это должно было подчеркнуть особый статус российской науки, подняв уровень ее престижности.

Цель работы

Целью работы являлся анализ публикационной активности в области проблем хранения растительного сырья, включенных в приоритет Г Стратегии научно-технологического развития нашей страны (СНТР) «Переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработку и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективную переработку сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания» [1]. Для достижения поставленной цели были использованы возможности поиска библиометрической системы Web of Science, позволяющие осуществлять выгрузку данных по различным показателям (количество публикаций по странам и годам).

Результаты и их обсуждение

В целом по количеству публикаций в Web of Science Россия значительно уступает ряду других стран. Подобная картина характерна для всех областей исследований. Что касается агропродовольственной тематики, то для определения её смысловых границ нами за основу был взят приоритет Г СНТР, где проблемам хранения и эффективной переработки сельскохозяйственной продукции уделяется важное значение.

Необходимо заметить, что сельскохозяйственная тематика занимает в мировой научной литературе, которая отражается в ведущей наукометрической системе Web of Science, весьма небольшую часть – 3%, а в отечественной ещё меньшую – лишь 1%.

Всего по направлениям приоритета Г СНТР в системе Web of Science за 2010-2020 годы учтено более 1100 000 научных статей, монографий и препринтов. Из них российских публикаций около 18000, или 1,6 %. Первые позиции в данном рейтинге занимают США и КНР. Больше всего в общей массе научной литературы по приоритету Г СНТР приходится на труды по животноводческой тематике – 76% в мире и 75% в России. По проблемам хранения сельскохозяйственной продукции за период 2010-2020 гг. в мире опубликовано 103994 работ, индексируемых на платформе Web of Science, в том числе 1677 российских, или 1,6 %. Этот небольшой удельный вес (1,6%) публикаций по вопросам хранения продукции совпадает с аналогичным показателем общего количества трудов российских учёных по приоритету Г СНТР и, очевидно, отражает проблемы отечественной науки и возможности публикации наших учёных в высокорейтинговых журналах. Напрашивается параллель между этим показателем и долей российской экономики в структуре мирового ВВП, где мы занимаем примерно такие же позиции. Вместе с тем, следует подчеркнуть, что этот незначительный удельный вес отнюдь не характеризует все возможности российской аграрной науки и, тем более, потенциал отечественного сельского хозяйства, особенно в современных условиях, когда вопросы агропродовольственного обеспечения получили особое признание на фоне пандемии коронавируса и последующего мирового кризиса [2].

В общем количестве публикаций по направлениям приоритета Г СНТР на тематику хранения сельскохозяйственной продукции приходится 9% в глобальном масштабе и приблизительно столько же в России. Примерно такое же количество научных трудов, учтенных в системе Web of Science за этот период, приходится на работы по растениеводству, что говорит о значимости проблем хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. Можно утверждать, что наша страна находится в мировом тренде структуры публикационной активности по агропродовольственной тематике. Причем сложившаяся структура не меняется на протяжение последнего десятилетия с 2010 по 2020 год.

По количеству публикаций по всем областям приоритетного направления Г СНТР, отраженных в системе Web of Science, уверенно лидируют Австралия, Бразилия, Великобритания, Германия, Индия, Китай и США. Россия занимает 19-26 места в рейтинге стран по этому показателю в разных областях приоритета Г СНТР. По тематике хранения сельскохозяйственной продукции наша страна находится на 19 месте, что несколько выше остальных направлений этого приоритета, что свидетельствует о высокой активности отечественных учёных, исследующих данные проблемы.

Первенство по числу научных работ, посвященных хранению продукции, которые проиндексированы в наукометрической системе Web of Science за последнее десятилетие, принадлежит США (24707 публикаций), Китаю (19154) и Великобритании (7889). В первую десятку стран по количеству публикаций по этому направлению также входят Германия, Бразилия, Индия, Франция, Канада, Австралия и Италия, каждая из которых опубликовала в 2010 – 2020 гг. более четырех тысяч работ, учтенных наукометрической системой Web of Science (рис. 1). Российскими учеными за этот период опубликовано 1677 научных работ, что на порядок меньше стран-лидеров.

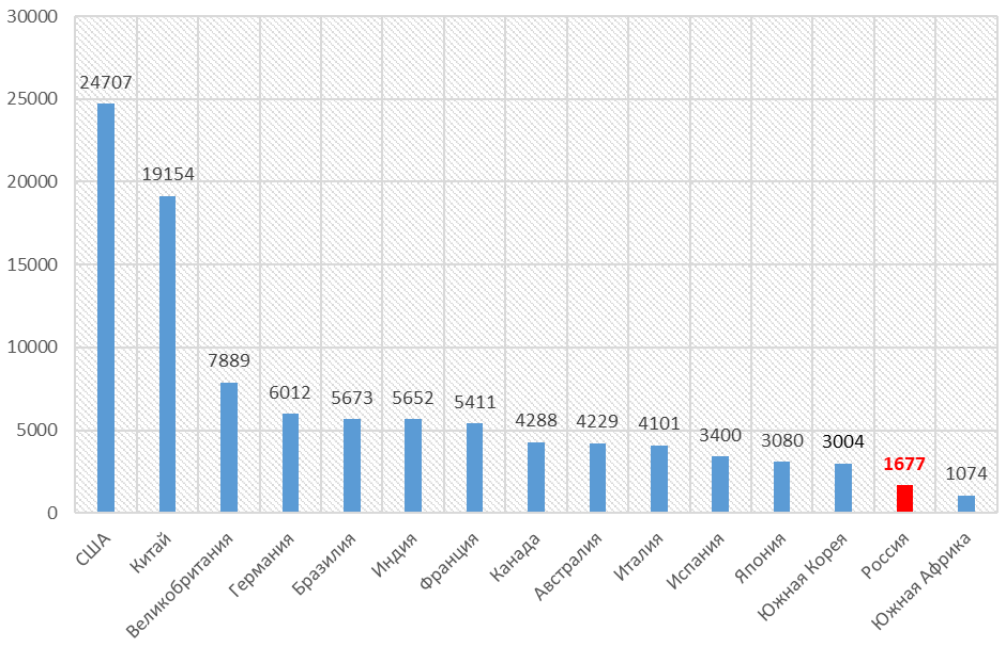


Рис.1 – Количество публикаций о хранении сельскохозяйственной продукции, отраженных на платформе Web of Science, в разрезе стран за 2010-2020 годы

Однако, следует подчеркнуть, что Россия демонстрирует более высокие темпы роста публикаций по проблемам хранения сельскохозяйственной продукции за последнее десятилетие. Так, если в 2010 г. их было 83, то в 2020 уже 257, или в 3 раза больше, в то время как аналогичные показатели в мире выросли с 7062 до 11975, или в 1,7 раза (рис. 2). Если удельный вес российских публикаций по хранению продукции составлял в 2010 г. всего лишь 1,2% в мировом масштабе, то в 2020 г. он увеличился до 2,1%. Иначе говоря, увеличение количества научных работ по хранению сельскохозяйственной продукции, отраженных в ведущей международной наукометрической системе, за последнее десятилетие происходит в нашей стране в полтора раза быстрее, чем во всем мире. Можно сказать, что отечественные учёные, занимающиеся вопросами хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, за последнее десятилетие наступательно завоёвывают свои позиции на мировом публикационном поприще. Сложившиеся отставание можно объяснить тем, что длительное время российские исследователи в силу различных причин объективного и субъективного характера были лишены возможности масштабного доступа к ведущим мировым журналам и перед ними ставились другие задачи.

Нужно заметить, что данные за 2020 год являются неполными, поскольку дополнение информации о публикациях происходит в течение длительного времени последующего, 2021 года. Однако, представленные цифры достаточно объективно отражают общую картину публикационной активности в анализируемой области исследований.

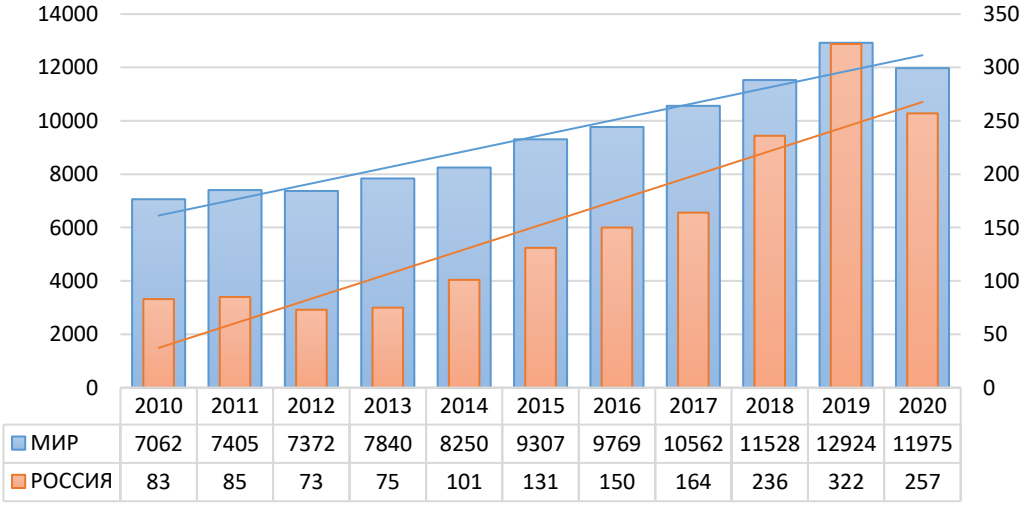


Рис. 2 – Динамика количества публикаций о хранении продукции, отраженных на платформе Web of Science, за 2010-2020 годы в России и в мире

Заключение

На основании проведенного анализа можно сделать вывод о том, что достижения российских ученых в области хранения сельскохозяйственной продукции недостаточно полно отражены в библиометрической системой Web of Sciense. Это связано в первую очередь с тем, что в ней отсутствуют ведущие отечественные отраслевые издания. Вторая причина - до недавнего времени не требовалось наличия публикаций в подобных изданиях для аспирантов и докторантов. В последнее время Россия занимает 19 место в мире по количеству публикаций, посвящённых проблемам хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. Но наличие положительной динамики публикационной

активности, опережающей за последнее десятилетие в полтора раза по темпам роста мировые показатели, позволяет прогнозировать попадание Российской Федерации в пятерку стран-лидеров в обозримой перспективе.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. - Указ Президента РФ от 01.12.2016 N 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».

2. Голубев А.В. Возможности развития растениеводства в условиях глобальных вызовов / А.В. Голубев // Аграрный научный журнал. 2020. № 11. С. 4-10.

3. Кирюшина О.Н. Научно-методологическое обеспечение наукометрического исследования ресурсов научного потенциала системы образования / О.Н. Кирюшина // European social science journal. 2013. №7. С. 59-70.

4. Козицын А.С. Тематический анализ в наукометрических системах / А.С. Козицын, С.А. Афонин, Д.А. Шачнев // Научный сервис в сети Интернет. 2020. №22. С. 394-407. DOI: 10.20948/abrau-2020-7

5. Кессених А.В. Уроки применения наукометрических систем. / А.В. Кессених. // Управление наукой: теория и практика. 2020. Т.2. № 3. С.181-195. DOI: 10.19181/smtp.2020.2.3.10

6. Лазаренко В.А. Эффективный контракт как инструмент повышения наукометрических показателей ВУЗа. / В.А. Лазаренко, О.О. Курилова, П.В. Ткаченко. // Азимут научных исследований: Экономика и управление. 2020. Т.9. №4. С. 202-204. DOI: 10.26140/anie-2020-0904-0043

7. Панин С.Б. Современные наукометрические системы «WoS» и «Scopus»: издательские проблемы и новые ориентиры для российской вузовской науки. / С.Б. Панин // Гуманитарные исследования Центральной России. 2019. №3. С. 51-65.

8. Пенькова О.В. Информетрия, наукометрия и библиометрия: наукометрический анализ современного состояния. / О.В. Пенькова, В.М. Тютюнник. // Вестник ТГУ. Т.6. вып. 1. 2001.

9. Российским ученым придется больше публиковаться в зарубежных научных журналах [Электронный ресурс]. – URL: https://minobrnauki.gov.ru/ru/presscenter/card/?id_4=933 (дата обращения: 12.04.2021)

10. Стаханова Е.А. Наукометрические показатели: объективная оценка или инструмент для построения карьеры. / Е.А. Стаханова, А.А. Улыбышева, О.В. Минина и др. // Вестник трансплантологии и искусственных органов. 2020. Т.22 №5. С. 17-18.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Strategija nauchno-tekhnologicheskogo razvitija Rossijjskojj Federacii. - Ukaz Prezidenta RF ot 01.12.2016 N 642 «O Strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitija Rossijjskojj Federacii» [Strategy of Scientific and Technological Development of the Russian Federation. - Decree of the President of the Russian Federation of 01.12.2016 N 642 "on the Strategy of Scientific and Technological Development of the Russian Federation"]

2. Golubev A.V. Vozmozhnosti razvitija rastenievodstva v uslovijakh global'nykh vyzovov [Opportunities for the Development of Crop Production in the Context of Global Challenges] / A. V. Golubev // Agrarnyjj nauchnyjj zhurnal [Agrarian Scientific Journal[. 2020. № 11, pp. 4-10 [in Russian]

3. Kiryushina O. N. Nauchno-metodologicheskoe obespechenie naukometricheskogo issledovanija resursov nauchnogo potenciala sistemy obrazovanija [Scientific and Methodological Support of Scientometric Research of the Resources of the Scientific Potential Of the Education System] / O. N. Kiryushina // European Social Science Journal. 2013. №7, pp. 59-70 [in Russian]

4. Kozitsyn A. S. Tematicheskijj analiz v naukometricheskikh sistemakh [Thematic analysis in scientometric systems] / A. S. Kozitsyn, S. A. Afonin, D. A. Shachnev // Nauchnyjj servis v seti Internet [Scientific Service on the Internet]. 2020. №22, pp. 394-407. DOI: 10.20948/abrau-2020-7 [in Russian]

5. Kessenikh A.V. Uroki primenenija naukometricheskikh sistem [Lessons From the Use of Scientometric Systems] / A.V. Kessenikh // Upravlenie naukojj: teorija i praktika [Management of Science: Theory and Practice]. 2020. Vol. 2. No. 3, pp. 181-195. DOI: 10.19181/smtp.2020.2.3.10 [in Russian]

6. Lazarenko V. A. Ehffektivnyjj kontrakt kak instrument povyshenija naukometricheskikh pokazatelejj VUZa. [Effective Contract as a Tool for Improving Scientometric Indicators of the University] / V. A. Lazarenko, O. O. Kurilova, P. V. Tkachenko // Azimut nauchnykh issledovanijj: Ehkonomika i upravlenie [Azimut of Scientific research: Economics and Management]. 2020. Vol. 9. No. 4, pp. 202-204. DOI: 10.26140/anie-2020-0904-0043 [in Russian]

7. Panin S. B. Sovremennye naukometricheskie sistemy «WoS» i «Scopus»: izdatel'skie problemy i novye orientiry dlja rossijjskojj vuzovskojj nauki [Modern Scientometric Systems " Wos " and "Scopus": Publishing Problems and New Guidelines for Russian University Science] / S. B. Panin // Gumanitarnye issledovanija Central'nojj Rossii [Humanitarian Studies of Central Russia]. 2019. №3, pp. 51-65 [in Russian]

8. Penkova O. V. Informetrija, naukometrija i bibliometrija: naukometricheskijj analiz sovremennogo sostojanija [Informetrics, Scientometrics and Bibliometrics: A Scientometric Analysis of the Current State] / O. V. Penkova, V. M. Tyutyunnik. // Vestnik TGU [Bulletin of TSU]. Vol. 6. issue 1. 2001 [in Russian]

9. Rossijjskim uchenym pridetsja bol'she publikovat'sja v zarubezhnykh nauchnykh zhurnalakh [Russian Scientists Will Have to Publish More in Foreign Scientific Journals] // Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. [Electronic Resource]. – URL: https://minobrnauki.gov.ru/ru/presscenter/card/?id_4=933 (accessed: 12.04.2021) [in Russian]

10. Stakhanova E. A. Naukometricheskie pokazateli: ob"ektivnaja ocenka ili instrument dlja postroenija kar'ery [Scientometric Indicators: An Objective Assessment or a Tool for Career Advancement] / E. A. Stakhanova, A. A. Ulybysheva, O. V. Minina et al. // Vestnik transpantologii i iskusstvennykh organov [Bulletin of Transplantology and Artificial Organs]. 2020. Vol. 22 No. 5, pp. 17-18 [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.026

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ПРЕПАРАТОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

Научная статья

Калоев Б.С.*

Горский государственный аграрный университет, Владикавказ, Россия

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

Аннотация

В статье приводятся результаты научно-хозяйственного опыта по изучению целесообразности включения в кормовые рационы цыплят-бройлеров трех различных видов биологически активных веществ: ферментного препарата «ЦеллоЛюкс-F», пробиотика «ОЛИН» и пребиотика «МОС-активатор», как раздельно, так и в различных сочетаниях. В ходе проведенных научных исследований определены основные зоотехнические и экономические показатели, по которым сделано итоговое заключение. Установлена экономическая эффективность использования изучаемых препаратов в кормлении цыплят-бройлеров, выразившаяся в получении дополнительной продукции, снижении ее себестоимости и повышении рентабельности производства мяса птицы.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, фермент, пробиотик, пребиотик, прибыль, рентабельность.

ON THE ECONOMIC EFFICIENCY OF INTEGRATED USE OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES IN BROILER RAISING

Research article

Kaloev B.S.*

Gorsky State Agrarian University, Vladikavkaz, Russia

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

Abstract

The article presents the results of a scientific and economic study of the feasibility of including three different types of biologically active substances in the feed diets of broiler chickens: the "CelloLux-F" enzyme preparation, the "OLIN" probiotic, and the "MOS-activator" prebiotic, both separately and in various combinations. In the course of the conducted research, the study identified the key zootechnical and economic indicators, according to which the final conclusion was made. The study establishes the economic efficiency of using the studied substances in the feeding of broiler chickens, which can be observed in obtaining additional products, reducing their cost and increasing the profitability of poultry meat production.

Keywords: broiler chickens, enzyme, probiotic, prebiotic, profit, profitability.

Введение

Для проявления генетически обусловленных мясных качеств цыплят-бройлеров необходимым условием является использование при их кормлении биологически активных добавок, в первую очередь ферментов. Собственная ферментная система растущих бройлеров, не способна эффективно переваривать избыточное количество трудноперевариваемых веществ в рационе (клетчатка, белки). Обогащение кормовых рационов ферментными препаратами способствует повышению сохранности и интенсивности роста цыплят, улучшает усвоение питательных веществ и конверсию корма. За счет этого повышается как продуктивность птицы, так и качество получаемой мясной продукции [3], [10], [12], [13].

Все более широкое применение в птицеводстве, находят пробиотики, деятельность которых, в качестве кормовых добавок, способствует лучшему перевариванию питательных веществ рациона. Их пробиотическая активность направлена на нормализацию микрофлоры желудочно-кишечного тракта и повышение специфического иммунитета птицы. Многие авторы считают пробиотики перспективными биологически активными веществами для применения при выращивании сельскохозяйственной птицы, как обязательный компонент полноценного рациона [1], [11].

Отдельные авторы приводят положительные результаты по использованию пребиотиков при выращивании цыплят-бройлеров, показывающие их положительное действие на иммунитет птицы, содержание бифидо - и лактобактерий в желудочно-кишечном тракте, снижение затрат кормов на продукцию [2].

Методы и принципы исследования

Научные исследования по изучению влияния биологически активных препаратов «ЦеллоЛюкс-F», «ОЛИН» и «МОС-активатор», на продуктивность цыплят-бройлеров кросса «РОСС-308», проведены на базе племенного репродуктора «Михайловский» РСО-Алания, по схеме представленной на рисунке 1.

Для научно-хозяйственного опыта, из суточных цыплят, по принципу групп-аналогов, сформированы 8 групп цыплят-бройлеров: одна контрольная и 7 опытных, по 100 голов в каждой. Продолжительность опыта составила 42 дня.

В ходе проведенных исследований учитывались и изучались все основные производственные показатели. Научно-хозяйственный опыт завершился изучением основных экономических показателей и определением наиболее эффективных видов и сочетаний ферментного, пробиотического и пребиотического препаратов, использованных в кормлении цыплят-бройлеров.

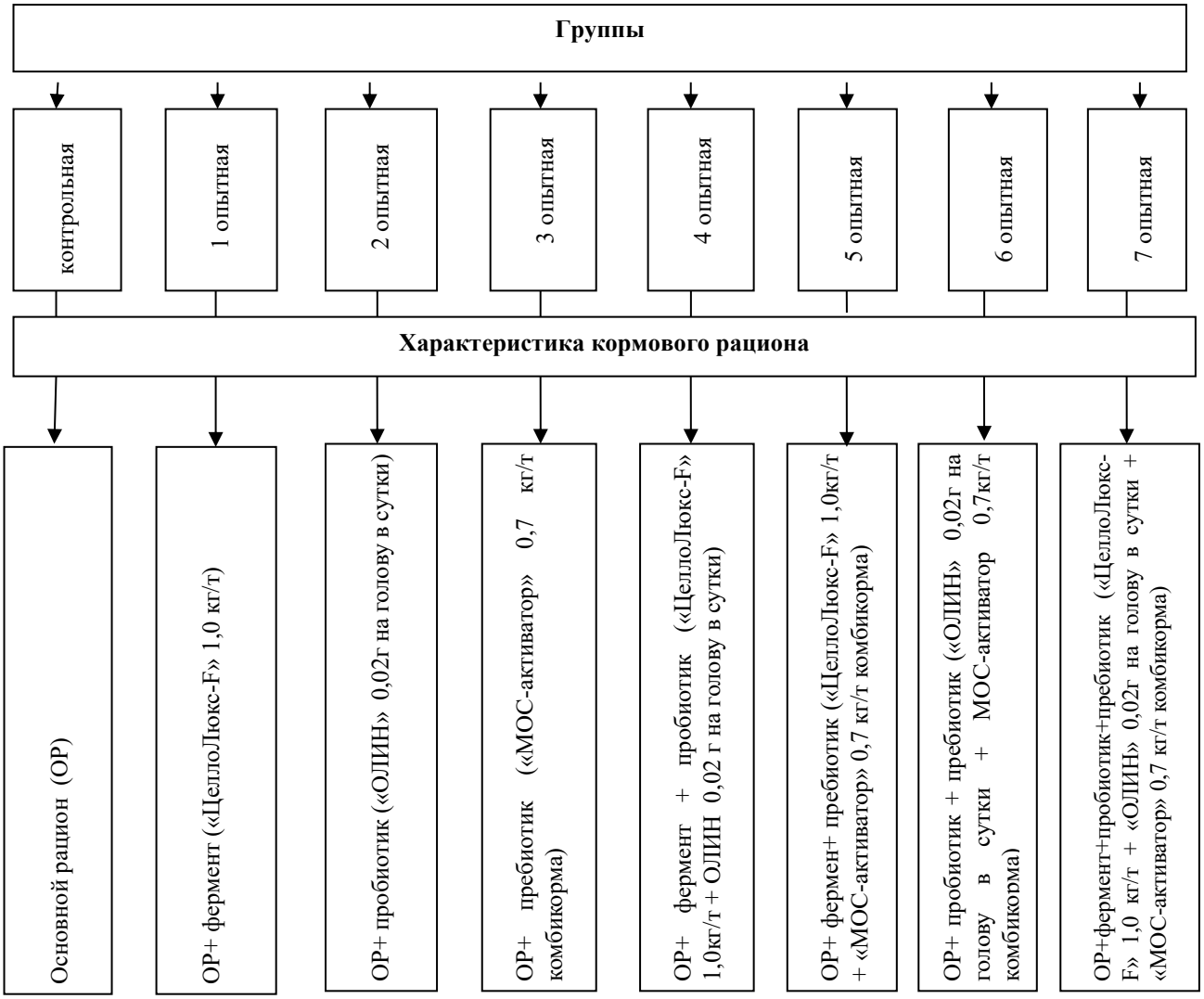


Рис. 1 – Схема научно-хозяйственного опыта

Основные результаты

Целесообразность включения в кормовые рационы сельскохозяйственных животных и птицы новых компонентов, определяется как продуктивными, так и экономическими показателями, среди которых основное место занимает уровень рентабельности. Для анализа этих показателей, произведены соответствующие расчеты (Табл. 1).

Таблица 1 – Экономическая эффективность применения биологически активных препаратов

Показатели	Группы							
	Контрольная	Опытная						
		1	2	3	4	5	6	7
Получено живой массы всего, кг	208,4	225,4	215,6	214,2	229,4	228,9	224,2	234,4
Реализационная стоимость 1 кг живой массы бройлеров, руб	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0	85,0
Стоимость полученной живой массы всего, руб	17408,0	19159,0	18326,0	18207,0	19499,0	19456,5	19057,0	19924,0
Общие затраты за время опыта, руб в т. ч. корма добавки	13087,5 8376,0 -	13519,0 8430,0 379,5	13207,82 8416,0 82,32	13381,1 8426,0 245,6	13599,85 8454,0 463,35	13794,7 8458,0 627,20	13515,78 8476,0 330,28	13884,18 8464,0 710,68
Прибыль, руб	4627, 86	5640,0	4999,18	4825,9	5899,15	5661,8	5541,22	6039,82
Рентабельность, %	35,36	41,72	37,85	36,07	43,37	41,04	41,00	43,50

С учетом полученного, в виде живой массы, количества продукции, в контрольной группе, ее стоимость составила 17408,0 рублей. Больше всего продукции было получено в 7 опытной группе, стоимость которой составила 19924,0 рублей. Немного меньшие показатели были получены, соответственно в 4 и 5 опытных группах - 19499,0 и 19456,5 рублей, соответственно.

Общие затраты средств за период научно-хозяйственного опыта в подопытных группах, в целом, существенно не отличались друг от друга, поскольку условия содержания и кормления всей птицы были одинаковыми. Тем не менее, разница между подопытными группами наблюдалась. Расчеты показали, что во всех опытных группах было по сравнению с контролем больше израсходовано средств, как на корма, так и на всю произведенную продукцию. Кроме того, сюда добавляются дополнительные расходы, произведенные на покупку и скармливание изучаемых биологически активных препаратов. С учетом стоимости препаратов они составили: от 82,32 до 379,5 рублей – при использовании препаратов в отдельности, от 330,28 до 627,20 рублей – при использовании сочетания двух препаратов и максимальное количество - 710,68 рублей в 7 опытной группе, при комплексном скармливании трех препаратов.

Анализ экономических показателей показывает, что прибыль в контрольной группе, за время опыта, составила 4627,86 рублей, при уровне рентабельности выращивания бройлеров 35,36%. В опытных группах, за счет дополнительного количества использованных в кормлении бройлеров препаратов, было получено больше продукции и прибыли, что соответственно, повысило уровень рентабельности. Так, в опытных группах, где изучаемые препараты использовались индивидуально, больше всего прибыли - 5640,0 рублей, получено в 1 опытной группе («ЦеллоЛюкс-F»), а уровень рентабельности составил 41,72%. При сочетании двух препаратов, лучшие показатели получены в 4 опытной группе («ЦеллоЛюкс-F» + «ОЛИН») – прибыль составила 5899,15 рублей, а уровень рентабельности повысился до 43,37%.

Максимально высокая экономическая эффективность зафиксирована в 7 опытной группе, в которой рацион бройлеров дополнительно обогащали препаратами «ЦеллоЛюкс-F», «ОЛИН» и «МОС-активатор», совместно. За период научно-хозяйственного опыта, в этой группе была получена прибыль в размере 6039,82 рубля, что больше показателя контрольной группы на 1411,96 рублей. Благодаря этому, уровень рентабельности выращивания цыплят-бройлеров в 7 опытной группе достиг самого высокого, среди всех групп показателя – 43,50%, который превосходит показатель контрольной группы на 7,54%.

Заключение

Таким образом, расчет основных экономических показателей подтверждает высокую эффективность использования изучаемых биологически активных веществ в кормлении мясной птицы. Установлено, что лучший экономический эффект, при выращивании цыплят-бройлеров, достигается при условии комплексного использования ферментного препарата «ЦеллоЛюкс-F» - в дозе 1,0 кг/т комбикорма, пробиотика «ОЛИН» - в дозе 0,02г на голову в сутки и пребиотика «МОС-активатор»- в дозе 0,7 кг/т комбикорма.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Антипов А. А. Эффективность применения пробиотика Olin при выращивании цыплят-бройлеров / А. А. Антипов, В. И. Фисинин, И. А. Егоров // Зоотехния. - 2011. - № 1. - С. 18-20.
2. Донцова Т.Н. Влияние биологически активных добавок на основе пребиотика лактулозы на морфологическое строение цыплят-бройлеров / Т.Н. Донцова, Л.В. Хорошевская, У.В. Бойко // Ветеринария. – 2012. –№2. – С. 16-17
3. Егоров И. Роль ферментных препаратов в повышении эффективности комбикормов, содержащих трудногидролизуемые компоненты / И. Егоров, А.Егоров // Птицеводство. -2009. - № 4. - С.16-38.
4. Ибрагимов М.О. Конверсия корма при использовании в рационе ферментных препаратов / М.О. Ибрагимов, Б.С.Калоев // Известия ФГБОУ ВПО «Горский ГАУ» - №55 (2). - 2018. –С. 91-96
5. Калоев Б.С. Способ улучшения использования питательных веществ рационов цыплят-бройлеров / Б.С.Калоев, Р.Б.Хадаева // Известия Горского государственного аграрного университета. -2011. -Т. 48. -№ 1. -С. 107-109.
6. Калоев Б.С. Возможности улучшения мясных качеств цыплят-бройлеров / Б.С. Калоев, М.О. Ибрагимов, З.В.Псхациева // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.- 2017. -№ 3 (39). -С. 118.
7. Калоев Б.С. Переваримость питательных веществ у бройлеров, получавших ферментные препараты / Б.С. Калоев, М.О. Ибрагимов // Научная жизнь. -2017. -№ 4. -С. 58-66.
8. Калоев Б.С. Влияние ферментных препаратов на качество мяса бройлеров / Б.С. Калоев, М.О. Ибрагимов // Международный научно-исследовательский журнал. -2017. -№ 4-1 (58). -С. 134-136.
9. Калоев Б.С. Эффективность использования ферментных препаратов при выращивании цыплят-бройлеров / Б.С. Калоев, З.В. Псхациева, М.О. Ибрагимов // Пермский аграрный вестник. -2017. -№ 3 (19). -С. 129-135.
10. Калоев Б.С. Влияние сухой барды в сочетании с ферментным препаратом «Фидбест VGPro» на переваримость и использование питательных веществ цыплятами-бройлерами / Б.С.Калоев, Г.Б.Черткоев // Пермский аграрный вестник. -Пермь. -2017. -№3 (19). -С.135-140.
11. Темираев Р.Б. Морфологический и биохимический состав крови мясной птицы при применении в рационах биологически активных препаратов / Р.Б. Темираев, А.В.Каиров, Ф.Н.Цогоева и др. //Известия Горского государственного аграрного университета. -2019. -Т. 56. -№ 1. -С. 91-97.
12. Тменов И.Д. Влияние ферментного препарата Фитаза на убойные показатели цыплят-бройлеров / И.Д.Тменов, Б.С.Калоев, В.В.Ногаева / /Известия Горского государственного аграрного университета. -2014. -Т. 51. -№ 3. -С. 102-106.
13. Kaloev B.S. Effect of enzyme preparations “Sanzaym”, “Sanfayz 5000” and lecithin on the quality of broiler meat / B.S. Kaloev, M.O. Ibragimov, L.H. Albegova et al. // Jounal of livestock science. - №11. -2020. -P 143-148.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Antipov A. A. Jeffektivnost' primenenija probiotika Olin pri vyrashhivanii cypljat-brojlerov [Efficiency of the Olin probiotic application in the cultivation of broiler chickens] / A. A. Antipov, V. I. Fisinin, I. A. Egorov // Zootehnija [Animal science]. - 2011. - No. 1. - p. 18-20. [in Russian]

2. Dontsova T. N. Vlijanie biologicheski aktivnyh dobavok na osnove prebiotika laktulozy na morfologicheskoe stroenie cypljat-brojlerov [Influence of biologically active additives based on lactulose prebiotic on the morphological structure of broiler chickens / T. N. Dontsova, L. V. Khoroshevskaya, U. V. Boyko // Veterinarija [Veterinary medicine]. - 2012. - No. 2. - p. 16-17. [in Russian]

3. Egorov I. . Rol' fermentnyh preparatov v povyshenii jeffektivnosti kombikormov, soderzhashhih trudnogidrolizuemye komponenty [The role of enzyme preparations in improving the efficiency of compound feeds containing difficult-to-hydrolyze components] / I. Egorov, A. Egorov // Pticevodstvo [Poultry farming]. -2009. - No. 4. - p. 16-38. [in Russian]

4. Ibragimov M. O. Konversija korma pri ispol'zovanii v racione fermentnyh preparatov [Conversion of feed when using enzyme preparations in the diet] / M. O. Ibragimov, B. S. Kaloev // Izvestiya FGBOU VPO "Gorsky GAU" - №55 (2). - 2018. –Pp. 91-96 [in Russian]

5. Kaloev B. S. Sposob uluchshenija ispol'zovanija pitatel'nyh veshhestv racionov cypljat-brojlerov [A method for improving the use of nutrients in the diets of broiler chickens] / B. S. Kaloev, R. B. Khadaeva // Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. -2011. - Vol. 48. - No. 1. - p. 107-109. [in Russian]

6. Kaloev B. S. Vozmozhnosti uluchshenija mjasnyh kachestv cypljat-brojlerov [Opportunities for improving the meat qualities of broiler chickens] / B. S. Kaloev, M. O. Ibragimov, Z. V. Pshatsieva // Vestnik Ul'janovskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii [Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy].- 2017. -№ 3 (39). -P. 118. [in Russian]

7. Kaloev B. S. Perevarimost' pitatel'nyh veshhestv u brojlerov, poluchavshih fermentnye preparaty [Digestibility of nutrients in broilers receiving enzyme preparations] / B. S. Kaloev, M. O. Ibragimov // Nauchnaya zhizn. -2017. - No. 4. - pp. 58-66. [in Russian]

8. Kaloev B. S. Vlijanie fermentnyh preparatov na kachestvo mjasa brojlerov [Influence of enzyme preparations on the quality of broiler meat] / B. S. Kaloev, M. O. Ibragimov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. -2017. -№ 4-1 (58). -P. 134-136. [in Russian]

9. Kaloev B. S. Jeffektivnost' ispol'zovanija fermentnyh preparatov pri vyrashhivanii cypljat-brojlerov [Efficiency of the use of enzyme preparations in the cultivation of broiler chickens] / B. S. Kaloev, Z. V. Pskhatsieva, M. O. Ibragimov // Permskij agrarnyj vestnik [Perm Agrarian Bulletin]. -2017. -№ 3 (19). -Pp. 129-135. [in Russian]

10. Kaloev B. S. The effect of dry bard in combination with the enzyme preparation "Feedbest VGPro" on the digestibility and use of nutrients by broiler chickens / B. S. Kaloev, G. B. Chertkoev // Perm Agrarian Bulletin. - Perm. -2017. -№3 (19). - P. 135-140. [in Russian]

11. Temiraev R. B. Morfologicheskij i biohimicheskij sostav krovi mjasnoj pticy pri primenenii v racionah biologicheski aktivnyh preparatov [Morphological and biochemical composition of blood of meat poultry when used in diets of biologically active drugs] / R. B. Temiraev, A.V. Kairov, F. N. Tsogoeva et al. // Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. -2019. - Vol. 56. - No. 1. - pp. 91-97. [in Russian]

12. Tmenov I. D. Vlijanie fermentnogo preparata Fitaza na ubojnye pokazateli cypljat-brojlerov [The effect of the enzyme preparation Phytase on the slaughter parameters of broiler chickens] / I. D. Tmenov, B. S. Kaloev, V. V. Nogaeva // Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. -2014. - Vol. 51. - No. 3. - p. 102-106. [in Russian]

13. Kaloev B.S. Effect of enzyme preparations “Sanzaym”, “Sanfayz 5000” and lecithin on the quality of broiler meat / B.S. Kaloev, M.O. Ibragimov, L.H. Albegova et al. // Jounal of livestock science. - №11. -2020. -P 143-148. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.027

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИНТЕНСИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ООО «АГРОФИРМА «НОВОЩЕРБИНОВСКАЯ»

Научная статья

Косенко Т.Г.*
ORCID: 0000-0003-3978-3025,
Донской государственный аграрный университет, Персиановский, Россия

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

Аннотация

В статье дана характеристика производственной деятельности ООО «Агрофирма «Новощербиновская» Краснодарского края. Рассмотрено состояние агроэкосистем с учетом антропогенного воздействия. Определена катастрофическая экоситуация в агроландшафте.

Доля травянистой растительности предприятия 18,54 соответствует характеристике степной зоны. Антропогенная нагрузка ООО «Агрофирмы «Новощербиновская» составляет 4 балла, что соответствует значительной степени. Наибольшее использование биогенных веществ наблюдается при выращивании озимой пшеницы, ярового ячменя и гороха.

Проведена оценка уровня и эффективности интенсификации растениеводства, выявлены положительные и отрицательные изменения. Наблюдается рост применения минеральный удобрений, и как следствие, рост производства валовой продукции на 100 га пашни, на 100 рублей основных фондов.

Результативным показателем эффективности производства является биоэнергетический коэффициент посева или окупаемость затраченной энергии энергией урожая. Совокупное содержание энергии в урожае в среднем за три года составило 63,8 гДж, общие затраты энергии на производство продукции, 24,2гДж, уровень энергетической эффективности составил 2,7.

Ключевые слова: природные факторы, сочетание отраслей, землепользование, эффективность, интенсивность, устойчивость, энергозатраты.

DEFINING THE FEASIBILITY OF INTENSIVE PRODUCTION IN AGROFIRMA NOVOSHCHERBINOVSKAYA LLC

Research article

Kosenko T.G.*
ORCID: 0000-0003-3978-3025,
Don State Agrarian University, Persianovsky, Russia

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

Abstract

The article describes the production activity of Agrofirma Novoshcherbinovskaya LLC located in Krasodarsk Krai. The study examines the state of agroecosystems taking into account the industrial impact as well as determines the ecological situation in the agricultural landscape as catastrophic. The share of herbaceous vegetation of the enterprise, 18.54, corresponds to the characteristic of the steppe zone. The man-made impact of Agrofirma Novoshcherbinovskaya LLC amounts to 4 points, which is defined as significant. The greatest use of biogenic substance is observed in the cultivation of winter wheat, spring barley, and peas. The study also conducts an assessment of the level and efficiency of crop production intensification with the identification of positive and negative changes. There is an increase in the use of mineral fertilizers, and as a result, an increase in the production of gross output per 100 hectares of arable land, per 100 rubles of fixed assets. The effective indicator of production efficiency is the bioenergy coefficient of sowing or the recoupment of the energy spent by the crop. The total energy content in the crop for an average of three years was 63.8 GJ, the total energy consumption for production amounted to 24.2 GJ, while the level of energy efficiency equaled 2.7.

Keywords: natural factors, combination of industries, land use, efficiency, intensity, sustainability, energy consumption.

Введение

Хозяйственная деятельность предприятия зависит от природных и экономических условий, в которых оно находится [1].

Из природных факторов существенно значимы качество почв, рельеф и климатические условия, из организационных - размер хозяйства, его организационная структура, специализация, сочетание отраслей, состав земельных угодий,

Важными экономическими условиями являются обеспеченность хозяйства рабочей силой, уровень интенсивности, объем производства, отдаленность хозяйства [2].

ООО «Агрофирма «Новощербиновская» Щербиновского района Краснодарского края имеет производственное направление зерново-молочное.

Целью исследований является определение состояния технологии производства продукции в соответствии с рациональным природопользованием и устойчивым развитием производства.

Объекты и методы исследований

Состояние агроэкосистем в среде антропогенного воздействия определяется на основе анализа показателей структуры землепользования, структуры посевных площадей сельскохозяйственного предприятия и коэффициентов

уровня естественности территории [3]. Учитываются биометрические характеристики (продуктивность, доля изымаемой продукции, длина вегетационного периода, динамика общего почвенного покрытия), противоэрозионные и почвосберегающие свойства сельскохозяйственных культур.

Противоэрозионные и почвосберегающие свойства сельскохозяйственных культур определяются агрегатным составом, коэффициентом структурности, количеством водопрочных агрегатов, содержанием гумуса, питательных элементов в почвах, содержанием и выносом биогенных элементов в агрофитоценозах [4].

Производство продукции растениеводства зависит от размеров посевных площадей и урожайности, сортового состава и технологии выращивания основных культур.

Результаты исследования

Для характеристики размеров производства продукции растениеводства используют показатель стоимости валовой продукции отрасли [5]. Устойчивость развития, является возможностью и условиями реализации продукции.

В структуре посевных площадей ООО «Агрофирма «Новощербиновская» наибольший удельный вес занимает озимая пшеница, доля её площади 55,20%, под подсолнечником 9,64% посевов, под сахарной свеклой 7,53%, под многолетними травами 8,69%.

Оценка экологической ситуации по распаханности в ООО «Агрофирма «Новощербиновская» за 2017-2019 годы соответствует 75,65%, что свидетельствует о катастрофической экоситуации в агроландшафте.

Уровень естественности предприятия соответствует 18,76%, что свидетельствует о кризисной экологической ситуации. Доля травянистой растительности в среднем за 2017-2019 гг. составляет 18,54 соответствует характеристике степной зоны.

В зависимости от исходного материала и целей можно применять различные способы оценки растений [6]. Рост эффективности сельскохозяйственного производства осуществляется за счет интенсивных факторов [7]. Урожайность сельскохозяйственных культур характеризует степень интенсивности сельского хозяйства [8].

Уровень фондовооруженности производства составляет 3918 тыс. руб., фондоемкость 0,28 руб., норма прибыли 19,22%.

Одна из главных причин низкой продуктивности посевов – отсутствие детально разработанной системы применения удобрений, а также биопрепаратов [9].

Показатели уровня производительности труда представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели уровня производительности труда

Показатели	2019г.
1.Произведено валовой продукции, тыс. руб.	448366
продукция растениеводства, тыс. руб.	311555
продукция животноводства, тыс. руб.	91480
2. Среднегодовая численность работников сельского хозяйства, чел.	325
работников растениеводства, чел.	60
работников животноводства, чел.	51
3. Отработано в сельском хозяйстве, тыс. ч/ч	602
в растениеводстве тыс. ч/ч	379
в животноводстве тыс. ч/ч	185
4. Произведено валовой продукции сельского хозяйства, руб. а) на 1 ч/ч	744,8
б) на 1 ч/ч в растениеводстве	1173
в) на 1 ч/ч в животноводстве	494,5
г) на 1 среднегодового работника	1379,6
д) на 1 работника в растениеводстве	5192,6
е) на 1 работника в животноводстве	1793,7

Уровень интенсификации производства и ее экономическая эффективность представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели уровня и эффективности интенсификации

Показатели	2019 г.
1.Приходится на 100 га с.-х., т.р. -основных производственных фондов	894,68
-текущих затрат по с.-х. производству	1821,21
-основных производственных фондов и текущих затрат без амортизации	2464,14
2. Затраты труда на 1 га пашни, ч/ч	23,52
3. Произведено валовой продукции на 100 га с.-х. угодий, тыс.руб.	19,60
на 100 руб. основных производственных фондов с.-х. назначения, руб.	219,09
на 100 руб. производственных затрат	107,63
на 1 ч/час, руб.	963,35
4. Получено прибыли на 100 га с.-х. угодий, руб.	163,41

Интенсивное производство в ООО «Агрофирма «Новощербиновская» обеспечивает рост производства продукции путем дополнительных вложений на единицу земельной площади и совершенствования методов организации труда. Важное значение имеет обеспечение роста экономического плодородия земли.

Данные о составе пахотного слоя почвы после различных культур севооборота представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Агрегатный состав пахотного слоя после различных культур севооборота

Культура и предшественник	Содержание фракций,%		
	крупнее 10мм	0,25-10мм	мельче 0,25мм
Пар чистый	26,9	58,5	14,6
Озимая пшеница по пару	35,8	57,4	6,8
по колосовым	36,9	56.7	6,4
Горох по пшенице	37,2	56,3	6,5
Ячмень по пшенице	34,4	57,8	7,8
Подсолнечник по пшенице	36,6	49,4	14,0
Кукуруза по пшенице	36,1	53,1	10,8
Люцерна 1 года	30,4	66,3	3,3
3 года	26,7	71,1	2,2

Одним из резервов повышения эффективности производства продукции является повышение ее качества и конкурентоспособности [10]. Высокий уровень качества повышает спрос на продукцию и увеличивает прибыль предприятия за счет объема продаж и более высоких цен [11].

Показатели эффективности производства кормовых культур представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Экономическая эффективность производства кормовых культур

Культуры	Выход продукции с 1 га				Себестоимость 1 ц, руб.			Затраты труда на 1 ц, ч/ч			
	физ массы	к.е.	п.п.	кпе	физ массы	к.е.	кпе	физ массы	1га	к.е.	кпе
Ячмень-зерно	20	22,8	1,6	19,4	540	473	556	0,60	12	0,35	0,61
солома	14	4,9	0,08	2,85	43,2	123	212	0,048	0,67	0,13	0,23
Кукуруза-зерно	34	45,56	2,38	39.9	930	684	792	1,05	35,7	0,78	0,89
стебли	44,2	16,35	0,66	11,47	158,1	427	609	0,16	7,07	0,43	0,61

Наиболее рентабельно производство зерна озимой пшеницы, окупаемость затрат здесь составляет 164,63%. На один затраченный рубль при производстве подсолнечника получено 3,35 руб. прибыли. Затраты на производство ярового ячменя окупились в 2,22 раза, кукурузы на зерно в 1,91 раз.

Интенсификация производства на предприятии обеспечивается факторами инвестиционного порядка на счет совершенствования основных фондов, применения удобрений, ядохимикатов, высокоурожайных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур.

С ростом интенсификации производства возрастают энергозатраты. Энергия, полученная с урожаем, зависит от продуктивности культуры и энергетической ценности продукции.

Эколого-энергетический подход к оценке агрофитоценозов и технологий выращивания их является обоснованием выбора и освоения энергосберегающих технологий. Важными показателями становятся энергетическая эффективность технологии возделывания агрофитоценоза по расходу средств, живого труда, энергоемкость производства единицы продукции, коэффициент прямой энергетической нагрузки на ландшафт.

Результативным показателем эффективности производства является биоэнергетический коэффициент посева или окупаемость затраченной энергии энергией урожая. Он тем выше, чем менее затратен агроприем и более продуктивен посев. Окупаемость затрат в большей степени зависит от количества энергии, полученной с урожаем.

Совокупное содержание энергии в урожае в среднем за три года составило 63,8 гДж, общие затраты энергии на производство продукции, 24,2гДж, уровень энергетической эффективности составил 2,7.

Заключение

Максимальные доходы от растений не являются постоянными величинами, а подвергаются влиянию благоприятных и неблагоприятных факторов.

Любое улучшение условий производства и условий окружающей среды для растений, технический прогресс, благодаря которому улучшается производительная сила предприятия, и становиться возможным своевременное выполнение работ в оптимальные сроки, повышают максимальный доходы и результаты и тем самым достигается более высокая интенсивность.

Определение целесообразной интенсивности не является одноразовым процессом, а должно происходить постоянно, по меньшей мере, каждый раз, когда меняется какой-либо фактор, важный для производства. Для этого должны постоянно наблюдаться все факторы, влияющие на доходы и производительность.

Главное в новых условиях работы предприятий - резкое повышение роли прибыли как стимула хозяйственной деятельности, источника расширенного производства, основного рычага противозатратного механизма.

Обоснование дальнейшего интенсивного производства в ООО «Агрофирма «Новощербиновская» связано с рациональным использованием производственных ресурсов, ростом производительности труда, повышением рентабельности. Последовательная интенсификация сельского хозяйства приводит к более высокой окупаемости дополнительных вложений, росту чистого дохода.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Збраилов М.А. Сравнение урожайности гибридов подсолнечника CLEARFIELD при разных способах защиты от сорняков / М.А. Збраилов, В.Б. Пойда, Е.М. Фалынсков и др. // Инновации в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур: материалы международной научно-практической конференции, 17 февраля 2016 г.-пос. Персиановский: Донской ГАУ.-2016.-С.134-137.

2. Косенко Т.Г. Особенности регионального природо-пользования / Т.Г. Косенко // В сборнике: Прогнозирование инновационного развития национальной экономики в рамках рационального природопользования Материалы V Международной научно-практической конференции: в 3-х частях. 2016. с. 180-192.

3. Драгалева О.А. Оценка антропогенного воздействия на сельскохозяйственные районы Ростовской области / О.А. Драгалева, И.А. Луганская // Мелиорация антропогенных ландшафтов Межвузовский сборник научных трудов. Новочеркасская государственная мелиоративная академия. Новочеркасск, 2007. С. 91-97.

4. Громаков А.А. Рельеф, плодородие чернозёма обыкновенного и продуктивность ярового ячменя / А.А. Громаков, Н.С. Скуратов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2011. № 10.

5. Косенко Т.Г. Оценка эколого-экономической эффективности сельскохозяйственного производства / Т.Г. Косенко // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2014. № 4-3 (14). С. 12-17.

6. Косенко Т.Г. Характеристика работы предприятия Учебное пособие / Т.Г. Косенко. п. Персиановский, 2016.

7. Гибриды моркови для товарного производства / А.Н. Ховрин, М.А. Косенко, А.В. Корнев, и др. // Картофель и овощи. 2019. №7. С. 32-33.

8. Пугач Е.И. Опыт применения минеральных удобрений и микробиологических препаратов под чечевицу в Ростовской области / Е.И. Пугач, Н.Иванищева , А. Маньшина // В сборнике: Инновации в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур материалы международной научно-практической конференции. 2015. С. 91-95.

9. Косенко М.А. Результаты и перспективы селекции редьки европейской / М.А. Косенко // Овощи России. 2019;(4):29-31.

10. Нестерова, Е.М. Применение регуляторов роста и минеральных удобрений под подсолнечник на черноземе обыкновенном Южного Дона / Е.М. Нестерова, А.А. Громаков // В сборнике: Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафтах. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции приуроченной к 65-летию кафедры агрохимии и физиологии растений Ставропольского ГАУ. 2018. С. 82-84.

11. Шапошникова И.М. Влияние комплексного применения удобрений и пестицидов на продуктивность культур севооборота / И.М. Шапошникова, Е. М. Фальинсков // Агрохимия. -1995. -№8. -С. 45-56.

12. Агафонов Е.В. Влияние способов внесения минеральных удобрений на урожайность зернового сорго на чернозёме обыкновенном Ростовской области / Е.В. Агафонов, Р.А. Каменев // Кукуруза и сорго. 2008. № 4. С. 19-21.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zbrailov M. A. Sravnenie urozhajnosti gibridov podsolnechnika CLEARFIELD pri raznyh sposobah zashhity ot sornjakov [Comparison of productivity of CLEARFIELD sunflower hybrids with different methods of protection from weeds] / M.A. Zbrailov, V.B. Pojda, E.M. Falynskov et al. // Innovacii v tehnologijah vozdelyvanija sel'skohozjajstvennyh kul'tur: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, 17 fevralja 2016 g. [Innovations in technologies of cultivation of agricultural crops: materials of the international scientific and practical conference, February 17, 2016]. Persianovsky: Donskoy GAU.-2016. - p. 134-137. [in Russian]

2. Kosenko T. G. Osobennosti regional'nogo prirodo-pol'zovanija [Features of regional nature use] / T. G. Kosenko // V sbornike: Prognozirovanie innovacionnogo razvitija nacional'noj jekonomiki v ramkah racional'nogo prirodopol'zovanija Materialy V Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [In the collection: Forecasting the innovative development of the national economy in the framework of rational environmental management Materials of the V International Scientific and Practical Conference]: in 3 parts. 2016. pp. 180-192. [in Russian]

3. Dragaleva O. A. Ocenka antropogennogo vozdejstvija na sel'skohozjajstvennye rajony Rostovskoj oblasti [Assessment of anthropogenic impact on agricultural areas of the Rostov region] / O. A. Dragaleva, I. A. Luganskaya // Melioracija antropogennyh landshaftov Mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov. Novocherkasskaja gosudarstvennaja meliorativnaja akademija [Melioration of anthropogenic landscapes Mezhvuzovsky sbornik nauchnykh trudov]. Novocherkassk State Reclamation Academy. Novocherkassk, 2007. pp. 91-97. [in Russian]

4. Gromakov A. A. . Rel'ef, plodorodie chernozjoma obyknovennogo i produktivnost' jarovogo jachmenja [Relief, fertility of ordinary chernozem and productivity of spring barley] / A.A. Gromakov, N.S. Skuratov // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University]. 2011. № 10. [in Russian]

5. Kosenko T. G. Ocenka jekologo-jekonomicheskoj jeffektivnosti sel'skohozjajstvennogo proizvodstva [Assessment of ecological and economic efficiency of agricultural production] / T. G. Kosenko // Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Don State Agrarian University]. 2014. № 4-3 (14). p. 12-17. [in Russian]

6. Kosenko T. G. Harakteristika raboty predprijatija [Characteristics of the work of the enterprise]. Textbook / T. G. Kosenko. P. Persianovsky, 2016. [in Russian]

7. Gibridy morkovi dlja tovarnogo proizvodstva [Hybrids of carrots for commodity production] / A. N. Khovrin, M. A. Kosenko, A.V. Kornev, et al. // Kartofel' i ovoshhi [Potatoes and vegetables]. 2019. No. 7. pp. 32-33. [in Russian]

8. Pugach E. I. Opyt primenenija mineral'nyh udobrenij i mikrobiologicheskih preparatov pod chechevicu v Rostovskoj oblasti [Experience in the use of mineral fertilizers and microbiological preparations for lentils in the Rostov region] / E. I. Pugach, N. Ivanishcheva, A. Manshina // V sbornike: Innovacii v tehnologijah vozdelyvanija sel'skohozjajstvennyh kul'tur materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [In the collection: Innovations in technologies of cultivation of agricultural crops materials of the international scientific and practical conference]. 2015. pp. 91-95. [in Russian]

9. Kosenko M. A. Rezul'taty i perspektivy selekcii red'ki evropejskoj [Results and prospects of European radish breeding] / M. A. Kosenko // Ovoshhi Rossii [Vegetables of Russia]. 2019;(4):29-31. [in Russian]

10. Nesterova, E. M. Primenenie reguljatorov rosta i mineral'nyh udobrenij pod podsolnechnik na chernozeme obyknovennom Juzhnogo Dona [Application of growth regulators and mineral fertilizers for sunflower on ordinary chernozem of the Southern Don] / E. M. Nesterova, A. A. Gromakov // V sbornike: Teoreticheskie i tehnologicheskie osnovy biogeohimicheskih potokov veshhestv v agrolandshaftah. Sbornik nauchnyh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii priurochennoj k 65-letiju kafedry agrohimii i fiziologii rastenij Stavropol'skogo GAU [In the collection: Theoretical and technological bases of biogeochemical flows of substances in agrolandscapes. Collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 65th anniversary of the Department of Agrochemistry and Plant Physiology of the Stavropol State Agrarian University]. 2018. pp. 82-84. [in Russian]

11. Shaposhnikova I. M. Vlijanie kompleksnogo primenenija udobrenij i pesticidov na produktivnost' kul'tur sevooborota [Influence of complex application of fertilizers and pesticides on the productivity of crop rotation crops] / I. M. Shaposhnikova, E. M. Falinskov // Agrohimija [Agrochemistry]. -1995. - No. 8. - pp. 45-56. [in Russian]

12. Agafonov E. V. Vlijanie sposobov vnesenija mineral'nyh udobrenij na urozhajnost' zernovogo sorgo na chernozjome obyknovennom Rostovskoj oblasti [Influence of methods of applying mineral fertilizers on the yield of grain sorghum on ordinary chernozem of the Rostov region] / E. V. Agafonov, R. A. Kamenev // Kukuruza i sorgo [Maize and sorghum]. 2008. No. 4. pp. 19-21. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.028

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ СОРТОВ И ЛИНИЙ ОЗИМОЙ ШАРОЗЕРНОЙ ПШЕНИЦЫ (TRITICUM SPHAEROCOCCUM) В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОЙ ЗОНЫ КУБАНИ

Научная статья

Боровик А.Н.[1], Костылев П.И.[2, *], Костылева Л.М.[3], Савченко С.А.[4], Васильева А.М.[5]

[1] ORCID: 0000-0003-1058-6255;
[2] ORCID: 0000-0002-4371-6848;
[3] ORCID: 0000-0003-3078-2296;
[4] ORCID: 0000-0002-3263-6228;
[1] Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко, Краснодар, Россия;
[2, 3] Азово-Черноморский инженерный институт − филиал Донского ГАУ, Зерноград, Россия;
[4, 5] Северо-Кубанская СХОС – филиал Национального центра зерна им. П.П.Лукьяненко, Ленинградская, Россия

* Корреспондирующий автор (p-kostylev[at]mail.ru)

Аннотация

В результате двухлетних исследований на разных агрофонах проведен сравнительный анализ сортов и линий шарозерной пшеницы (*Triticum sphaerococcum Perc.*) и их производных по урожайности и оценены параметры их адаптивности, экологической пластичности и стабильности. Установлено, что сорта Ордынка, Прасковья и Еремеевна обладают максимальной стрессоустойчивостью и широко адаптивны (b_i=0,74–0,93). Абсолютную стабильность по урожайности показал сорт Ордынка (b_i=0,80, σ2d =0,00). Выделены сорта и линии интенсивного типа (b_i>1), экологически пластичные ((b_i=1) и широко адаптивные ((b_i<1). По результатам экономической оценки сделан прогноз о рентабельности внедрения сортов шарозерной пшеницы в производство. Внедрение сортов шарозерной пшеницы в производство выгодно, т.к. рентабельность составляет от 126,1 до 210,9 %.

Ключевые слова: шарозерная пшеница, урожайность, экологическая пластичность, стабильность, стрессоустойчивость.

AN ASSESSMENT OF ECOLOGICAL PLASTICITY AND STABILITY OF LINES AND VARIETIES OF DWARF WHEAT (TRITICUM SPHAEROCOCCUM) IN THE CONTEXT OF THE NORTHERN ZONE OF KUBAN

Research article

Borovik A.N.[1], Kostylev P.I.[2, *], Kostyleva L.M.[3], Savchenko S.A.[4], Vasilyeva A.M.[5]

[1] ORCID: 0000-0003-1058-6255;
[2] ORCID: 0000-0002-4371-6848;
[3] ORCID: 0000-0003-3078-2296;
[4] ORCID: 0000-0002-3263-6228;
[1] Lukyanenko National Grain Center, Krasnodar, Russia;
[2, 3] Azov-Black Sea Engineering Institute, branch of the Don State Agrarian University, Zernograd, Russia;
[4, 5] North Kuban Agricultural Experimental Station, branch of the Lukyanenko National Grain Center, Leningradskaya Station, Russia

* Corresponding author (p-kostylev[at]mail.ru)

Abstract

As a result of two-year research on different conditions of soil, the current study presents a comparative analysis of varieties and lines of *Triticum sphaerococcum Perc.* as well as an evaluation of their derivatives by yield, the parameters of their adaptability, environmental plasticity, and stability. The results demonstrate that the Ordynka, Praskovya and Eremeyevna varieties have maximum stress resistance and are widely adaptive (b_i=0.74-0.93), among which the Ordynka variety shows absolute stability in yield (b_i=0.80, σ2d =0.00). The study distinguishes varieties and lines of intensive type (b_i1), of environmental plasticity ((b_i=1) and widely adaptive ((b_i1) are distinguished. Based on the results of the economic assessment, a forecast was made about the profitability of introducing the varieties of wheat under study into production. Their introduction into production is profitable since the profitability ranges from 126.1 to 210.9 %.

Keywords: Triticum sphaerococcum Perc., yield, environmental plasticity, stability, stress resistance.

Введение

Одним из основных направлений селекции сельскохозяйственных культур нашего времени является селекция на адаптивность. В своей работе В.А. Зыкин и др. (2000) отмечали, что «первостепенное значение в селекции приобретает вопрос о совмещении в конкретном сорте генетически детерминированных свойств – высокой отзывчивости на благоприятные условия выращивания с устойчивостью к отрицательным климатическим и биогенным факторам внешней среды» [1, С. 7]. Дальнейшее закрепление этих свойств отбором позволит новому сорту проявлять экологическую пластичность и стабильность.

Шарозёрная пшеница обладает целым комплексом ценных признаков, которые выгодно отличают её от мягкой пшеницы. Это и морфологические признаки (прочная соломина, ограниченный рост, округлая форма зерна) и биохимические (очень высокое содержание белка и клейковины). Наряду с достоинствами у нее есть и отрицательные качества: она более требовательна к условиям возделывания и часто уступает мягкой пшенице по урожайности [2, С.3]. В связи с этим, повышение адаптивности этого вида к различным стресс-факторам – одна из первоочередных задач селекции.

Целью наших исследований являлась оценка адаптивного потенциала сортов и линий озимой шарозёрной пшеницы селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко и их производных в условиях северной зоны Кубани.

Материал и методика

Исследования проводили в 2018–2019 годах в филиале НЦЗ им. П.П. Лукьяненко – Северо-Кубанской СХОС.

В качестве объекта исследований использовали четыре сорта и шесть линий озимой шарозерной пшеницы, находящихся в КСИ. Сорт Шарада, внесенный в Госреестр РФ с 2006 г. был использован как стандарт. В опытах также изучались новые перспективные линии мягкой пшеницы, полученные по программе вовлечения потенциала шарозёрной пшеницы в селекцию. Эти линии в аббревиатуре названия включали латинские буквы «sv», тогда как линии шарозерной пшеницы букву «s». Реакцию сортов и линий на условия выращивания изучали по трем предшественникам: горох, подсолнечник и озимая пшеница. Посев осуществляли на делянках площадью 8 м^2 в трех повторениях в первой декаде октября. Все мероприятия по уходу за растениями выполняли в соответствии с требованиями зональных систем земледелия Краснодарского края [3, С. 73]. Наблюдения, учеты и анализы проводили согласно методике ГСИ [4, С. 9] и методике полевого опыта [5, С. 17]. Статистическую обработку полученных данных проводили по методике Б.А. Доспехова [5, С. 125], с помощью компьютерных программ Statistica 10.0, Microsoft Excel. Вычисление параметров экологической пластичности и стабильности сортов проводили согласно методике С.А. Эберхарта и У.А. Рассела [6, С. 37]. Стрессоустойчивость сортов определяли по А.А. Россилли, Хемблину [7, С. 28], а размах урожайности (d) по В.А. Зыкину [8, С. 10].

Результаты исследований

В своих теоретических работах Н.И. Вавилов (1935) подчеркивал, что «сорт должен быть по возможности пластичным, в особенности в условиях непостоянного континентального климата России» [9, С.88]. В последние годы многие ученые [7, С.27], [10, С.3], [11, С.36] большое внимание стали уделять изучению адаптивности сортов различных культур, где главными параметрами выступают коэффициент регрессии, характеризующий экологическую пластичность, и дисперсия, характеризующая стабильность сорта. Сущность и механизм применения этих параметров приобретает первостепенное значение в реализации селекционных программ.

В годы исследований нами была изучена реакция сортов и линий озимой шарозерной пшеницы на различные агрофоны. Двухфакторный дисперсионный анализ данных урожайности позволил выявить существенные различия по вариантам опыта и установить долю влияния изучаемых факторов на результативный признак (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты дисперсионного анализа, 2018–2019 гг.

Дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Степень свободы	Средний квадрат отклонений	$F_{факт.}$	F_{05}
Общая	112,21	59			
Повторений	7,73	1	7,73	8,31	4,18
Фактор А (сорт)	43,07	9	4,79	5,15	2,21
Фактор В (предшественник)	31,46	2	15,73	16,9	3,32
Взаимодействие АВ	3,03	18	0,17	0,18	1,94
Остаток (ошибки)	26,92	29	0,93		

На основе установленного достоверного влияния разных предшественников на урожайность сортов и линий шарозерной пшеницы был проведен анализ экологической пластичности и стабильности изучаемых сортов и линий. Результаты оценки показали, что наиболее урожайными закономерно были две линии мягкой пшеницы, 661sv-30 и 661sv-39 (таблица 2).

Об этом свидетельствует не только их средняя урожайность в целом по предшественникам с учетом лет изучения, но и такой показатель, как ($\underline{Y}$max + $\underline{Y}$min)/2. Он отражает среднюю урожайность сорта в контрастных (благоприятных и неблагоприятных) условиях и характеризует генетическую гибкость сорта, его компенсаторную способность. Чем выше степень соответствия между генотипом сорта и различными факторами среды (в данном случае, предшественником), тем выше этот показатель. Следовательно, линии 661sv-30 и 661sv-39 обладают большим генетическим потенциалом.

Таблица 2 – Урожайность сортов и линий озимой шарозерной пшеницы и её производных по разным предшественникам и параметры их адаптивности, 2018–2019 гг.

Сорт	Урожайность по предшественникам, т/га				(Ymax+Y min) /2*	Ymin – Ymax**	b_i***	σ^2_d****
	горох	подсолнечник	озимая пшеница	средняя				
Шарада, стандарт	7,26	7,99	6,42	7,23	7,205	-1,57	0,74	0,38
Прасковья	8,41	8,81	7,40	8,21	8,102	-1,41	0,76	0,15
Еремеевна	8,86	8,58	7,31	8,25	8,085	-1,55	0,93	0,01
Ордынка	7,65	7,50	6,36	7,17	7,002	-1,30	0,80	0,00
956s-27	8,28	8,04	6,66	7,66	7,465	-1,62	0,99	0,00
1045s-8	9,91	9,38	7,41	8,90	8,660	-2,50	1,48	0,03

Окончание таблицы 2 – Урожайность сортов и линий озимой шарозерной пшеницы и её производных по разным предшественникам и параметры их адаптивности, 2018–2019 гг.

Сорт	Урожайность по предшественникам, т/га				(Ymax+Ymin) /2*	Ymin – Ymax**	b_i***	σ^2_d****
	горох	подсолнечник	озимая пшеница	средняя				
989sv-7	8,48	8,41	6,85	7,91	7,665	-1,63	1,04	0,01
661sv-30	10,62	10,20	8,76	9,86	9,690	-1,85	1,09	0,02
661sv-39	10,32	9,50	8,38	9,40	9,348	-1,94	1,04	0,20
1237s-7	8,67	8,17	6,70	7,85	7,682	-1,98	1,15	0,04
Средняя	8,85	8,66	7,22	8,24	8,04	-1,63	-	-
Индекс условий среды, I_j	0,60	0,42	-1,02	-	-	-	-	-

*Примечание: *[(Ymax+Ymin)/2] – компенсаторная способность; **(Ymin –Ymax) – стрессоустойчивость; ***b_i – пластичность; **** σ^2_d – стабильность*

Другой показатель адаптивности – разность между урожайностью (Ymin – Ymax) в альтернативных условиях, имеющий отрицательный знак, характеризует уровень устойчивости сортов к стрессовым условиям произрастания. Стрессоустойчивость сорта выше при меньшем разрыве между значениями, а, значит, шире диапазон его приспособительных возможностей.

К таким сортам относятся Ордынка, Прасковья и Еремеевна, у которых наблюдался минимальный разрыв (-1,3–1,55 т/га). Средняя стрессоустойчивость с максимальным разрывом (-1,85–2,5 т/га) была отмечена у линий 661sv-30, 661sv-39, 1045s-8 и 1237s-7. Следовательно, эти линии более требовательны к условиям выращивания и дают большую отдачу при их улучшении. Отзывчивость сорта на условия среды, оценивает коэффициент регрессии (b_i) и линии тренда (прямолинейной зависимости). С целью визуальной оценки пластичности сортов по урожайности и прогнозирования ее изменения в рамках изучаемых условий был построен график зависимости урожайности от этих условий (рис. 1).

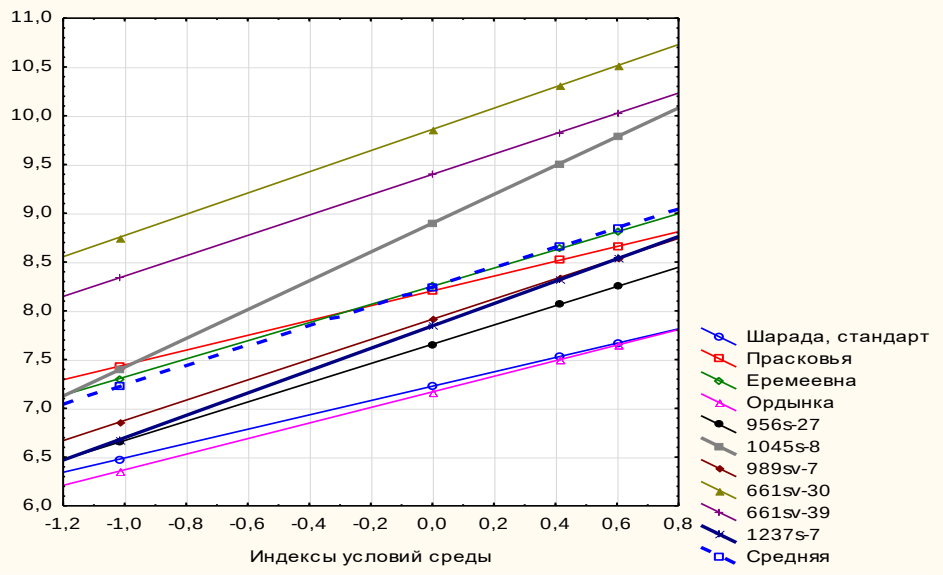


Рис. 1 – Зависимость урожайности сортов и линий шарозерной пшеницы от индексов условий среды (2018-2019 гг.)

В качестве факториального признака для вычисления основного показателя пластичности использовали индексы условий среды. Совокупность индексов характеризует изменчивость условий, в которых выращивались сорта в данном опыте.

Сорта и линии показали разные адаптивные свойства по урожайности в зависимости от предшественника. Среди изученных вариантов опыта наиболее отзывчивыми были линии 1045s-8 и 1237s-7, которые относятся к экологически пластичному (узкоадаптивному) типу. Линия регрессии 1045s-8 относительно средней по опыту поднимается резко вверх, что говорит о высокой отзывчивости на улучшение условий выращивания, по слабому предшественнику она снижает свою урожайность, хотя и в этих условиях нижний порог ее выше большинства сортов. Подобная картина наклона линии регрессии наблюдается и у шарозерной пшеницы 1237s-7, но ее урожайность в целом ниже средней по опыту, в то же время – достоверно выше стандарта. Следовательно, данные линии обладают пластичностью и специфической адаптацией и относятся к сортам интенсивного типа, т.е. требовательны к высокому уровню агротехники и при оптимальных условиях дают более высокую урожайность, нежели остальные. Однако в неблагоприятные по погодным условиям годы или же на низком агрофоне у них резко снижается урожайность. Им соответствуют более высокие значения коэффициента регрессии (b_i = 1,48, и 1,15 соответственно), по сравнению с другими сортами и линиями. При этом они имеют достаточно низкие значения дисперсии (σ^2_d = 0,03–0,04), что свидетельствует об их повышенной стабильности по данному признаку.

Другая группа изученных линий пшеницы 956s-27, 989sv-7 и 661sv-39 и 661sv-30 относятся к высокопластичному типу, так как их коэффициент регрессии близок к единице (b_i=0,99–1,09), изменения урожайности у этих линий соответствуют изменениям условий фона. Угол наклона линий регрессии на рисунке практически одинаков с углом наклона линии средней по опыту. Максимальная стабильность по данному признаку отмечена у линии 956s-27 (σ^2_d = 0,001).

В отличие от линий все сорта шарозерной пшеницы можно назвать широкоадаптивными, так как их коэффициент регрессии ниже единицы (b_i=0,74–0,93). Такие сорта, как правило, дают стабильную урожайность, не значительно различающуюся в зависимости от агротехнических условий. Следует отметить абсолютную стабильность между фактической и прогнозируемой урожайностью у сорта Ордынка (σ^2_d = 0,00) и максимальную в опыте изменчивость у стандартного сорта Шарада (σ^2_d = 0,38).

Таким образом, тщательный сравнительный анализ сортов по основным признакам и оценка их адаптивности показали, что сорта шарозерной пшеницы и линии, полученные с их участием, могут быть вполне конкурентоспособными при сравнении их с сортами мягкой пшеницы. Но при рассмотрении потенциала использования шарозёрной пшеницы необходимо учитывать её главное преимущество – высокое качество зерна (табл. 3).

Таблица 3 – Качественные показатели сортов и линий озимой шарозерной пшеницы и её производных по предшественнику горох, 2018–2019 гг.

Сорт	Содержание, %		Валовый сбор белка, т/га	Объемный выход хлеба, мл	Общая хлебопекарная оценка, балл
	белка	клейковины			
Шарада, стандарт	15,5	31,1	1,13	900	4,5
Прасковья	14,9	30,7	1,25	860	4,3
Еремеевна	14,8	30,9	1,31	920	4,5
Ордынка	16,1	35,8	1,23	920	4,4
956s-27	16,1	32,0	1,33	950	4,7
1045s-8	14,6	27,1	1,45	730	4,3
989sv-7	15,1	27,9	1,28	900	4,6
661sv-30	13,8	26,1	1,47	780	4,5
661sv-39	14,1	25,0	1,46	800	4,6
1237s-7	15,8	30,3	1,37	950	4,3
Среднее	15,1	29,7	1,33	871	4,5

Прослеживается четкая общеизвестная обратная зависимость урожайности и качественных показателей зерна (табл. 3). Самые высокоурожайные линии 661sv-30 и 661sv-39 (табл. 2), имели минимальный в опыте уровень содержания белка 13,8 и 14,1% соответственно, однако эти величины находятся на нижнем пределе для высококачественных «сильных» мягких пшениц. Максимальное содержание белка 16,1% и клейковины 35,8% сформировал сорт Ордынка. Результирующим показателем урожайности и качества является валовый сбор белка с единицы площади. Максимальным он был у линий 661sv-30 и 661sv-39 и составил 1,47 т/га и 1,46 т/га соответственно. Из линий шарозерной пшеницы максимальный валовый сбор белка 1,45 т/га сформировала линия 1045s-8. Все линии при оценке хлебопекарных качеств показали хорошие и отличные оценки. Шарозерная пшеница создана для получения высококачественных партий зерна 2, 1 и «высшего» классов. Но рынка такого зерна в нашей стране ещё не сформировалось. Поэтому при оценке рентабельности мы полагались на складывающиеся цены 3 класса зерна, а дополнительный белок шел бонусом покупателям. Даже при этом внедрение сортов шарозерной пшеницы в производство высокорентабельно и составляет 126,1–210,9 %. Максимальный экономический эффект (33264 руб./га) можно получить по линии 661sv-30 по предшественнику «горох».

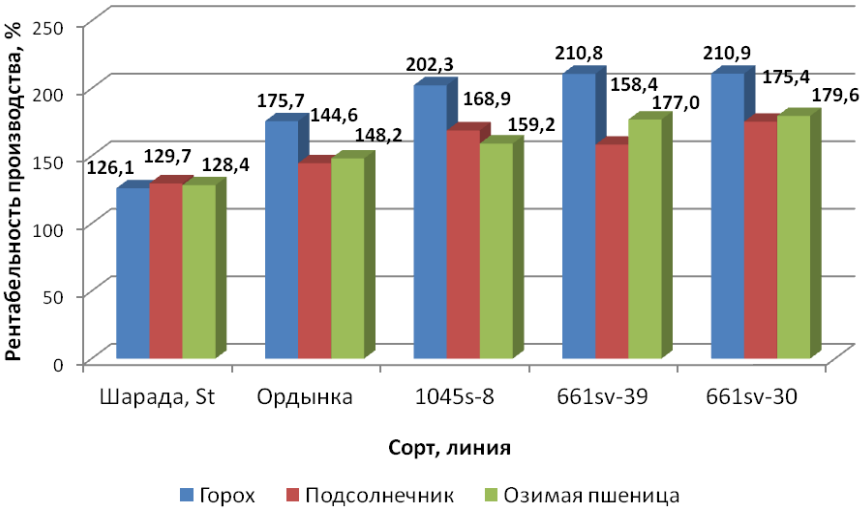


Рис. 2 – Рентабельность сортов и линий шарозерной пшеницы

Изучавшиеся в опытах линии были переданы на Государственное сортоиспытание. Линия 661sv-39 под названием «Песня», линия 661sv-30 под названием «Хит», линия 989sv-7 как сорт «Флэш» и линия 1045s-8 как сорт «Прайм». Следовательно, шарозёрная пшеница как культура имеет все необходимые качества для успешного возделывания в производстве и может также использоваться в селекции пшеницы мягкой.

Выводы

1. Сорта Ордынка, Прасковья и Еремеевна обладают максимальной стрессоустойчивостью и широко адаптивны (bi=0,74–0,93).
2. Абсолютную стабильность по урожайности показал сорт Ордынка (bi=0,80, σ^2d =0,00).
3. Выделены линии интенсивного типа: 1045s-8 и 1237s-7 (bi=1,48 и 1,15, соответственно) и высокопластичные: 956s-27, 989sv-7 и 661sv-39 и 661sv-30 (bi=0,99–1,09).
4. Внедрение сортов шарозерной пшеницы в производство выгодно, т.к. рентабельность может составить от 126,1 до 210,9 %.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Зыкин В.А. Экология пшеницы: Монография / В.А. Зыкин, В.П. Шаманин, И.А. Белан. – Изд-во ОмГАУ. – Омск, 2000. – 124 с.
2. Боровик А.Н. Селекция и возвращение в культуру исчезающих и редких видов пшеницы: шарозёрной (Triticum sphaerococcum Perc.), полбы (Triticum dicoccum (Schrank.) Schuebl.), твёрдой (Triticum durum Desf.) и создание тритикале шарозёрной (Triticale sphaerococcum) для диверсификации производства высококачественного зерна: автореферат дисс… докт. с.-х. наук: 06.01.05 / А.Н. Боровик. – Краснодар, 2016. – 22 с.
3. Коробка А.Н. Система земледелия Краснодарского края на агроландшафтной основе / Коробка А.Н., Орленко С.Ю., Алексеенко Е.В. и др. – Краснодар, 2015. – 352 с.
4. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / М., 1989. –Вып. 2. – 250 с.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) учебник / Б. А. Доспехов. - 6-е изд., стереотип. - Москва: Альянс, 2011. – 352 с.
6. Eberhart S.A. Stability parameters for comparing varieties / S.A. Eberhart, W.A. Russell // Crop sci., 1966. – Vol. 6. – №1. – P. 36–40.
7. Rossielle A.A. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environvents / A.A. Rossielle, J. Hamblin // Crop. Sci., – 1981. – V.21. – № 6. – P. 27–29.
8. Зыкин В.А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: Методические рекомендации. / В.А., Зыкин, В.В., Мешков, В.А. Сапега // Новосибирск: Сиб. отделение ВАСХНИЛ, 1984. – С. 1–24.
9. Вавилов Н.И. Научные основы селекции пшеницы. / Н.И. Вавилов // В кн.: Теоретические основы селекции растений. - М.-Л.: Гос. изд. совх. и колх. литературы, 1935. – С. 3-244.
10. Жученко А.А. Эколого-генетические основы адаптивной системы селекции растений / А.А. Жученко // Сельскохозяйственная биология – 2000. – №3. – С.3–12.
11. Сапега В.А. Продуктивность и параметры интенсивности и стабильности сортов ярового ячменя / В.А. Сапега // Зерновое хозяйство России, 2017. – № 3(51). – С. 36–39.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Zykin V. A. Ekologiya pshenitsy: Monografiya [Ecology of wheat: Monograph] / V. A. Zykin, V. P. Shamanin, I. A. Belan. OmGAU Publishing house. - Omsk, 2000. - 124 p. [in Russian]
2. Borovik A. N. Selektsiya i vozvrashcheniye v kul'turu ischezayushchikh i red-kikh vidov pshenitsy: sharozornoy (Triticum sphaerococcum Perc.), polby (Triticum dicoccum (Schrank.) Schuebl.), tvordoy (Triticum durum Desf.) i sozdaniye triticale sharozornoy (Triticale sphaerococcum) dlya diversifikatsii proizvodstva vysokokachestvennogo zerna: [Selection and return to the culture of endangered and rare types of wheat: sphaerical grain (Triticum sphaerococcum Perc.), spelt (Triticum dicoccum (Schrank.) Schuebl.), hard (Triticum durum Desf.) and the creation of triticale sphaerical (Triticale sphaerococcum) for the diversification of high-quality grain production]: avtoreferat diss… dokt. p.-h. nauk: 06.01.05 / A.N. Borovik. – Krasnodar, 2016. – 22 p. [in Russian]
3. Korobka A. N. Sistema zemledeliya Krasnodarskogo kraya na agrolandshaftnoy osnove [System of agriculture of the Krasnodar territory on the agrolandshaft basis] / Korobka A. N., Orlenko S. Yu., Alekseenko E. V. et al. - Krasnodar, 2015 – 352 p. [in Russian]
4. Metodika Gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Methodology of State variety testing of agricultural crops] // M., 1989. - V2. – 250 p. [in Russian]
5. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) uchebnik [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results) textbook] / B. A. Dospekhov. - 6 th edition. - Moskva: Al'yans, 2011. – 352 p. [in Russian]
6. Eberhart S.A. Stability parameters for comparing varieties / S.A. Eberhart, W.A. Russell // Crop sci. – 1966. – Vol. 6, №1. – P. 36–40.
7. Rossielle A. A. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environvents / A. A. Rossielle, J. Hamblin // Crop. Sci. – 1981. – V. 21. – No. 6. – P. 27-29.

8. Zykin, V. A. Parametry ekologicheskoy plastichnosti sel'skokhozyaystvennykh rasteniy, ikh raschet i analiz: Metodicheskiye rekomendatsii [Parameters of ecologic plasticity of agricultural plants, their calculation and analysis: Methodological recommendations] / V.A., Zykin, V.V., Meshkov, V.A. Sapega // Novosibirsk: Sib. otdeleniye VASKHNIL, 1984. – P. 1-24. [in Russian]

9.Vavilov N. I. Nauchnye osnovy selektsii wheat [Scientific basis of wheat breeding] / N. I. Vavilov / / V kn.: Teoreticheskie osnovy selektsii rastenii. - M.-L.: Publishing house of sovh. and colchoz. literature, 1935. - P. 3-244. [in Russian]

10. Zhuchenko A. A. Ekologo-geneticheskiye osnovy adaptivnoy sistemy se-lektsii rasteniy [Ecological and genetic foundations of the adaptive system of plant breeding] / A.A. Zhuchenko // Sel'skokhozyaystvennaya biologiya [Agricultural Biology] – 2000. – №3. – P.3–12. [in Russian]

11. Sapega V.A. Produktivnost' i parametry intensivnosti i stabil'nosti sortov yarovogo yachmenya [Productivity and intensity parameters and stability of the varieties of spring barley] / V.A. Sapega // Zernovoye khozyaystvo Rossii [Grain economy of Russia], 2017. № 3(51). P. 36–39. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.029

МОЛОЧНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ КОРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СЕРВИС-ПЕРИОДА

Научная статья

Кровикова А.Н.[1, *], Лепёхина Т.В.[2], Болотова Е.Н.[3]
[1] ORCID: 0000-0003-0355-3156;
[2] ORCID: 0000-0003-2490-5974;
[1, 2, 3] Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, Россия

* Корреспондирующий автор (anna.krovikova[at]mail.ru)

Аннотация

В настоящей работе нами был проведен анализ воспроизводительных качеств и молочной продуктивности коров черно-пестрой породы разных генотипов в условиях ООО «Спасское» с целью выявления лидирующей линии, и изучение воспроизводительных качеств и молочной продуктивности коров разных линий в условиях ООО «Спасское» Тульской области является мало изученным.

Увеличение продуктивности крупного рогатого скота, сохранения генофонда и увеличение изготовления качественных товаров животноводства является одной из основных трудностей аграрного хозяйства.

С целью улучшения черно-пестрого скота по комплексу показателей ведется скрещивание его с голштинской породой американской и канадской селекции, которая различается значительной молочной продуктивностью, широким выменем с одинаково сформированными долями, хорошей приспособленностью к индустриальной технологии.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, молочная продуктивность, сервис-период, линии.

LACTATION PERFORMANCE OF COWS IN RELATION TO THE DURATION OF SERVICE PERIOD

Research article

Krovikova A.N.[1, *], Lepyokhina T.V.[2], Bolotova E.N.[3]
[1] ORCID: 0000-0003-0355-3156;
[2] ORCID: 0000-0003-2490-5974;
[1, 2, 3] Skryabin Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (anna.krovikova[at]mail.ru)

Abstract

The current article analyzes the reproductive qualities and lactation performance of the Russian Black Pied cattle of different genotypes in the Spasskoye LLC in order to identify the leading breed line. The study also asserts that the research of reproductive qualities and lactation performance of cows of different breeding lines in the Spasskoye LLC located in Tula Oblast is not comprehensively examined.

One of the main difficulties facing the agricultural sector is increasing the productivity of cattle, preserving the gene pool, and increasing the production of high-quality livestock products.

In order to improve the Russian Black Pied cattle breed according to a set of indicators, it is crossed with the Holstein breed of American and Canadian selection, which differs in significant lactation performance, wide udders with equally formed lobes, and good adaptability to industrial technology.

Keywords: cattle, lactation performance, service period, lines.

Введение

Многочисленные исследования в области зоотехнии подтверждают, что продолжительность сервис-периода оказывает влияние на молочную продуктивность. Все процессы, протекающие в организме, тесно взаимосвязаны и непосредственно влияют друг на друга. Как результат, часто можно наблюдать более продолжительный сервис-период и межотельный период при высоком уровне продуктивности за лактацию, который, в свою очередь, в какой-то степени зависит от продолжительности данных периодов.

Материал и методы исследований

Исследования проведены в период 2017-2020 гг. в ООО «Спасское» Новомосковского района Тульской области. Материалом исследований являлись племенные карточки формы 2-МОЛ по каждой корове. Животных по данным зоотехнического учета сформировали в группы по линейному происхождению. Исследуемое поголовье составило — 250 голов.

Результаты исследований

Молочную продуктивность коров можно оценить по первой, полновозрастной, наивысшей и даже по средним показателям за ряд лактаций. В таблице 1 представлены результаты анализа молочной продуктивности коров разных генотипов за первую лактацию.

Анализируя молочную продуктивность коров за первую лактацию ООО «Спасское», мы сравнили между собой молочную продуктивность коров разных линий. В результате мы видим, что наибольший удой за 305 дней лактации продемонстрирован дочерями линии РефлекшнСоверинг 198998 – 7105,7 кг, что на 277,2 кг больше, чем удой за 305 дней лактации, показанный коровами линии Вис БэкАйдиал 1013415. По показателю массовой доли жира нами было отмечено, что существенной разницы нет, однако, наиболее жирномолочными оказались дочери, принадлежащие к линии Вис БэкАйдиал 1013415, у данной линии этот показатель составил 4,00%. Количество молочного жира составило

275,7 кг у коров линии РефлекшнСоверинг 198998 и 272,8 у коров линии Вис БэкАйдиал 1013415. Наиболее продолжительная лактация была продемонстрирована коровами линии Вис БэкАйдиал 1013415, что в сумме составило 417,2 дней, коровы линии РефлекшнСоверинг 198998 лактировали 393,0 дня. Коэффициент молочности характеризует способность коровы производить определенное количество молока на 100 кг живой массы. Наибольший коэффициент молочности за первую лактацию установлен у дочерей линии Рефлекшн Соверинг 198998 — 1444,8 кг., что на 60,3 кг превосходит данный показатель другой группы. Живая масса коров различных генеалогических линий не имеет существенных отличий — 493,2 кг у коров линии Вис Бэк Айдиал 1013415 и 491,8 кг у коров линии Рефлекшн Соверинг 198998.

Таблица 1 – Молочная продуктивность коров-дочерей разных линий за первую лактацию (n=250)

Показатель	Линии					
	Вис БэкАйдиал 1013415			РефлекшнСоверинг 198998		
	X±Sx	σ	Cv	X±Sx	σ	Cv
Длительность лактации, дн	417,2±16,1	89,5	21,5	393,0±18,9	75,4	19,1
Удой за 305 дней лактации, кг	6828,5±159,7*	903,3	13,2	7105,7±164*	696	9,8
Массовая доля жира, %	4,00±0,05	0,26	6,6	3,9±0,07	0,3	7,8
Количество молочного жира, кг	272,8±7,7	43,6	15,9	275,7±8,4	35,6	12,9
Живая масса коров, кг	493,2±1,3	5,7	1,16	491,8±2,9	7,7	1,6
Коэффициент молочности, кг	1377,4±32,6	184,6	13,4	1444,8±33,4	141,5	9,8

*Примечание: здесь и далее достоверно: * при P≥0,95; ** при P≥0,99; *** при P≥0,999*

Для исследования молочной продуктивности коров-дочерей разных линий в зависимости от сервис-периода, нами было сформировано 4 группы: I группа (n=30) - коровы, принадлежащие к линии Вис Бэк Айдиал 1013415 с продолжительностью сервис периода менее 95 дней; II группа (n=30) — коровы линии Вис Бэк Айдиал 1013415, с продолжительностью сервис периода более 95 дней; III группа (n=30) — дочери, принадлежащие к линии Рефлекшн Соверинг с продолжительностью сервис-периода менее 95 дней; IV группа (n=30) — коровы линии Рефлекшн Соверинг 198998 с продолжительностью сервис-периода более 95 дней. Результаты наших исследований представлены в таблице 2.

Сравнивая результаты удоя за 305 дней лактации внутри линии между группами, мы видим, что удой выше у группы II по сравнению с группой I — 8419,4 кг, что выше удоя, показанного коровами I группы на 164 кг. Между группами III и IV разница также больше в сторону группы коров с наиболее продолжительным сервис-периодом, с разницей в 48,6 кг. Однако если сравнивать удой между линиями, то здесь удой III группы, с продолжительностью сервис-периода менее 95 дней больше, нежели, чем у коров II группы с продолжительностью сервис-периода более 95 дней, где удой за 305 дней лактации III группы равен 8616,0 кг, что больше удоя II группы на 196,6 кг. Наибольшая массовая доля жира была показана дочерями группы I — 4,02 %, этот же показатель равен 3,96 % у коров группы II, 3,88 % у дочерей группы III и 3,93 % у представительниц группы IV. Сравнивая внутри линии показатель количество молочного жира, мы видим несущественную разницу в показателях - 332,2 кг у I группы и 333,3 кг у II группы, у представительниц линии Рефлекшн Соверинг 198998 этот показатель составляет 336,5 кг у III группы, что больше результата IV группы на 26,4 кг. В результате мы наблюдаем тенденцию к увеличению удоя за 305 дней лактации в зависимости от продолжительности сервис-периода, но также сравнивая между собой представительниц разных генотипов мы не можем не отметить, что дочери линии Рефлекшн Соверинг 198998 с продолжительностью сервис-периода (сервис-период представляет собой период от отела до плодотворного осеменения, оптимальным он считается в 90 дней с учетом физиологического состояния животного), в значительной степени превышают по показателям дочерей линии Вис Бэк Айдиал 1013415 даже с увеличенной продолжительностью сервис-периода.

Таблица 2 – Молочная продуктивность коров-дочерей в зависимости от продолжительности сервис-периода

Показатель	Линия			
	Вис БэкАйдиал 1013415		РефлекшнСоверинг 198998	
	I группа	II группа	III группа	IV группа
Продолжительность сервис-периода	≤95 дн.	≥95 дн.	≤95 дн.	≥95 дн.
Число голов	30	30	30	30
Удой за 305 дней лактации, кг	8255,2±264,1	8419,4±152,8	8616,0±690,5	8664,6±283,1
Массовая доля жира, %	4,02±0,09	3,96±0,04	3,88±0,15	3,93±0,09
Количество молочного жира, кг	332,2±14,8	333,3±6,5	336,5±38,5	310,1±35,9

Для наглядной оценки молочной продуктивности и сравнения различий между группами, нами было отобрано по

две представительницы из каждой группы с минимальным и максимальным удоем по результатам которого были построены лактационные кривые. В I группе минимальный удой был у коровы Лотта 5331 — 7689 кг, а максимальный продемонстрирован коровой Майя 5828 — 9416 кг, во II группе минимальный удой показан дочерью Агги 5895 - 7437 кг, а максимальный зафиксирован у коровы Бетти 5222 — 9953 кг. В III группе минимальный удой был установлен у коровы Фортуны 5915 и составил 7102 кг, а максимальный был показан коровой Бетти 5885 и составил — 10443 кг. В IV группе минимальный удой был продемонстрирован коровой Линдой 5857 и был равен 7569 кг, а максимальный удой был показан коровой Краснушкой 5410 и составил 10367 кг.

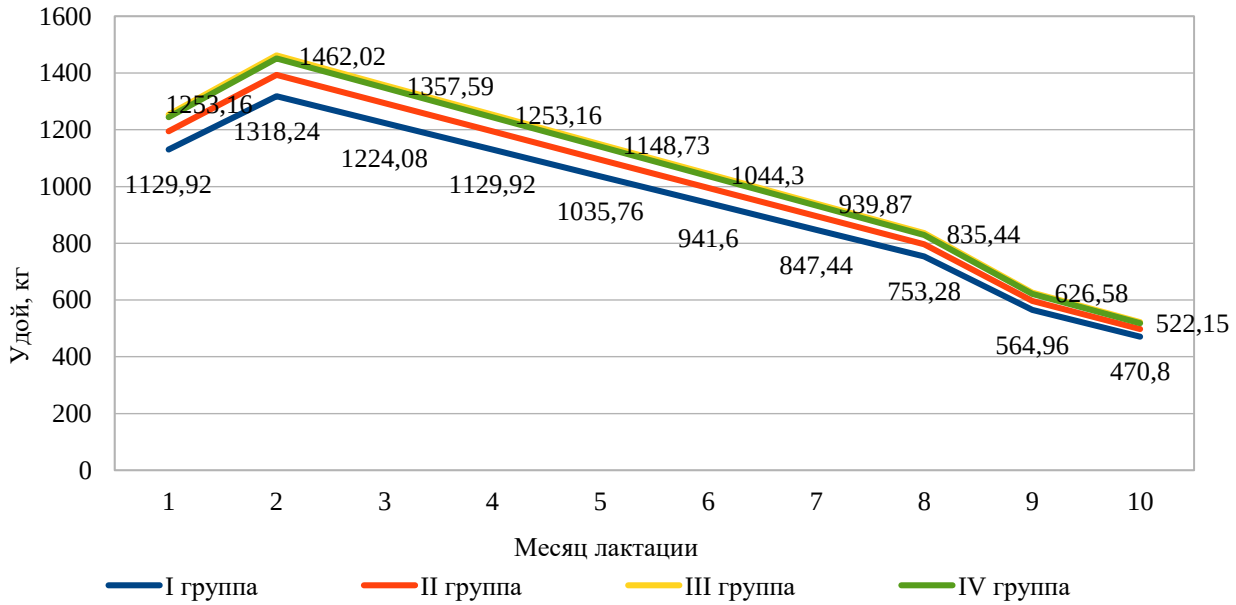


Рис. 1 – Лактационные кривые по максимальным показателям удоя среди исследуемых групп

В результате наших исследований на рисунке 1 отображены лактационные кривые четырех представительниц всех групп, у которых был отмечен максимальный удой, на графике мы видим, что среди всех коров лидирует дочь группы III, после нее следует представительница группы IV, далее по величине удоя отмечена корова группы II, а самый минимальный удой зафиксирован у представительницы I группы. Таким образом, мы отмечаем лидерство групп, принадлежащих к линии Рефлекшн Соверинг 198998.

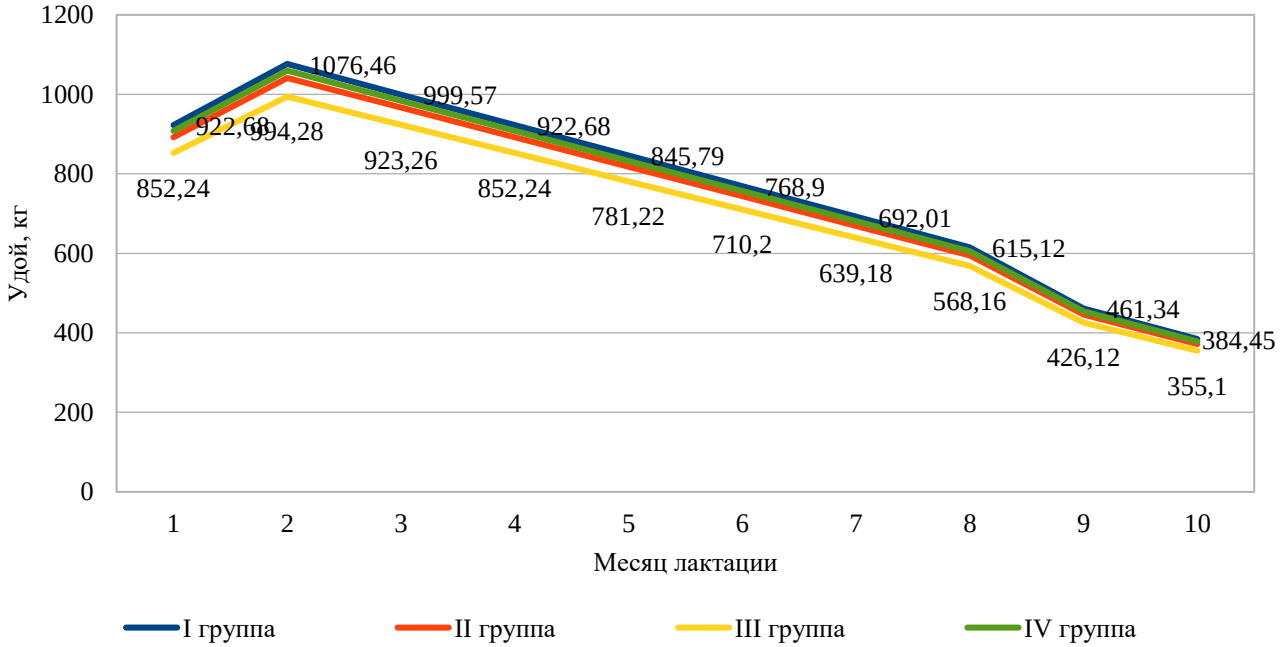


Рис. 2 – Лактационные кривые по минимальным показателям удоя среди исследуемых групп

На рисунке 2 изображены лактационные кривые 4 дочерей, у которых был зафиксирован минимальный удой, по одной представительнице из каждой группы. Здесь же мы наблюдаем лидерство дочери, принадлежащей к группе I, далее отмечена корова группы IV, после нее следует представительница группы II, а самый минимальный удой был зафиксирован у дочери группы III, где и был отмечен самый максимальный удой.

Заключение

Исследуя молочную продуктивность коров в зависимости от продолжительности сервис-периода, мы отметили тенденцию к увеличению удоя за 305 дней лактации в зависимости от продолжительности сервис-периода, но также сравнивая между собой представительниц разных линий мы не можем не отметить, что дочери линии Рефлекшн Соверинг 198998 со стандартной продолжительностью сервис-периода, в значительной степени превышают по показателям дочерей линии Вис Бэк Айдиал 1013415 даже с увеличенной продолжительностью сервис-периода.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Бакай А.В. Воспроизводительные качества коров черно-пестрой породы с разным уровнем кариотипической нестабильности / А.В. Бакай, Ф.Р. Бакай, К.С. Мехтиева // Международный научно-исследовательский журнал – № 1 (103) – Часть 2 – С.94-97.
2. Бакай А.В. Влияния уровня молочной продуктивности на воспроизводительные качества коров черно-пестрой породы / А.В. Бакай, Ф.Р. Бакай, Т.В. Лепёхина // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы, сборник статей XIV Международной научно-практической конференции. 2019, С. 3-6.
3. Басонов О.А. Динамика молочной продуктивности и долголетия коров в зависимости от кровности по голштинской породе / О.А. Басонов, О.Е. Павлова// Зоотехния — 2018 - №11 — 11-12 с.
4. Костомахин Н. Влияние продолжительности сервис-периода на молочную продуктивность коров разных генотипов / Н. Костомахин, А. Бакай, Т. Лепехина // Главный зоотехник — 2014 - №2 — 3-7 с.
5. Лепехина, Т.В. Высокопродуктивное племенное стадо голштинской породы / А.В. Бакай, Ф.Р. Бакай, Т.В. Лепёхина // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. №4. С.54-58.
6. Лепехина, Т.В. Изменчивость и повторяемость признаков молочной продуктивности у коров черно-пестрой породы / А.В. Бакай, Ф.Р. Бакай, Т.В. Лепёхина // Зоотехния — 2018 - №12 — 10-11 с.
7. Мехтиева К.С. Молочная продуктивность у голштинизированных коров разных линий / К.С. Мехтиева, Ф.Р. Бакай, С.М. Мехтиев // Мировая наука, Выпуск № 10(43) (октябрь, 2020).
8. Mukhtarova O. M. Milk productivity of cows for the highest lactation in the Moscow region / O. M. Mukhtarova, A. V. Bakay // Proceedings of the 1stInternational Scientific and Practical Conference "International Forum: Problems and Scientific Solutions" (January16-18, 2020). Melbourne, Australia: CSIRO Publishing House, 2020. 164-166 p.
9. Овчинникова, Л. Влияние сервис-периода на продуктивность и воспроизводительные функции коров / Л. Овчинникова // Молочное и мясное скотоводство. - 2007. - №4. - 19-20 с.
10. Сударев Н. Удой и сервис-период взаимосвязаны / Н. Сударев // Животноводство России. - 2008. - №3. - 49-51 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bakay A.V. Vosproizvoditel'nye kachestva korov cherno-pestroj porody s raznym urovnem kariotipicheskoj nestabil'nosti [Reproductive qualities of black-and-white breed cows with different levels of karyotypic instability] / A.V. Bakay, F. R. Bakay, K. S. Mekhtieva // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International research journal]. – 1 (103) – Part 2 – p. 94-97. [in Russian]
2. Bakai, A. V. Vlijanija urovnja molochnoj produktivnosti na vosproizvoditel'nye kachestva korov cherno-pestroj porody [Effect of level of milk production on reproductive qualities of cows of black-motley breed] / A. V. Buckeye, F. R. Bakay, T. V. lepekhina // Agropromyshlennyj kompleks: sostojanie, problemy, perspektivy, sbornik statej XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [agro-industrial complex: problems and prospects, collection of papers of the XIV International scientific and practical conference]. 2019, pp. 3-6. [in Russian]
3. Basonov O. A. Dinamika molochnoj produktivnosti i dolgoletija korov v zavisimosti ot krovnosti po golshtinskoj porode [Dynamics of dairy productivity and longevity of cows depending on the blood content of the Holstein breed] / O. A. Basonov, O. E. Pavlova // Zootechniya-2018-No. 11-11-12 p. [in Russian]
4. Kostomakhin N. Vlijanie prodolzhitel'nosti servis-perioda na molochnuju produktivnost' korov raznyh genotipov [The effect of the duration of service period on milk production of cows of different genotypes] / Kostomakhin, N., Bakai, A., lepekhina, T // Glavnyj zootehnik [Main livestock]. — 2014 - №2 — p. 3-7 [in Russian]
5. Lepekhina, T. V. Vysokoproduktivnoe plemennoe stado golshtinskoj porody [highly Productive breeding herd of Holstein] / A. V. Buckeye, F. R. Bakay, T. V. lepekhina // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy]. 2020. No. 4. pp. 54-58. [in Russian]
6. Lepekhina, T. V. Izmenchivost' i povtorjaemost' priznakov molochnoj produktivnosti u korov cherno-pestroj porody [Variability and repeatability of signs of milk productivity in black-and-white breed cows] / A.V. Bakay, F. R. Bakay, T. V. Lepekhina // Zootechniya-2018-No. 12-10-11 p. [in Russian]
7. Mekhtieva K. S. Molochnaja produktivnost' u golshtinizirovannyh korov raznyh linij [Dairy productivity in holstinized cows of different lines] / K. S. Mekhtieva, F. R. Bakay, S. M. Mekhtiev // Mirovaja nauka [World Science], Issue No. 10 (43) (October, 2020). [in Russian]
8. Mukhtarova O. M. Milk productivity of cows for the highest lactation in the Moscow region / O. M. Mukhtarova, A. V. Bakay // Proceedings of the 1stInternational Scientific and Practical Conference "International Forum: Problems and Scientific Solutions" (January16-18, 2020). Melbourne, Australia: CSIRO Publishing House, 2020. 164-166 p.
9. Ovchinnikova, L. Vlijanie servis-perioda na produktivnost' i vosproizvoditel'nye funkcii korov [The influence of the service period on the productivity and reproductive functions of cows] / L. Ovchinnikova // Molochnoe i mjasnoe skotovodstvo [Dairy and meat cattle breeding]. - 2007. - No. 4. - 19-20 p. [in Russian]
10. Sudarev N. Udoj i servis-period vzaimosvjazany [Milk yield and service period are interrelated] / N. Sudarev // Zhivotnovodstvo Rossii [Animal Husbandry of Russia]. - 2008. - No. 3. - 49-51 p. [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.030

ИЗУЧЕНИЕ ОКРАСКИ ТЫЧИНОК И ПЕСТИКА ГЛАДИОЛУСА ГИБРИДНОГО (*GLADIOLUS HYBRIDUS* HORT.)

Научная статья

Кузичев О.Б.*
Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Россия

* Корреспондирующий автор (kuzicheva.natalia[at]yandex.ru)

Аннотация

Проведены исследования окраски цветка отборных сеянцев гладиолуса, а также дан анализ встречаемости расцветки важнейших генеративных органов цветка – тычинок и пестика. У гладиолуса преобладающей окраской цветка является красная с ее оттенками. Пятно, локализующееся у гладиолуса на нижних долях околоцветника, хорошо контрастирует с основной окраской и имеет, как правило, светлый оттенок. Самой окрашенной частью тычинок являются пыльники, в большинстве случаев у сортообразцов гладиолуса отмечена сиреневая их окраска. У рыльца пестика наиболее выражена сливочная окраска, имеется также много культиваров с малиновой окраской пестика. Краснoокрашенные гладиолусы имеют в основном сиреневую окраску тычинок, а пестик у них, как правило, малиновый.

Ключевые слова: гладиолус, сеянец, окраска, тычинки, пестик.

A STUDY OF THE COLOR OF THE STAMENS AND PISTIL OF *GLADIOLUS HYBRIDUS* HORT.

Research article

Kuzichev O.B.*
Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia

* Corresponding author (kuzicheva.natalia[at]yandex.ru)

Abstract

The current study conducts an analysis of the flower color of selected Gladiolus seedlings as well as an analysis of the occurrence of the color of the most important generative organs of the flower, which are the stamens and pistil. In Gladiolus, the predominant color of the flower is red of various shades. The spot that is localized on the lower lobes of the perianth in the case of Gladiolus contrasts well with the main color and is usually a light shade. The most colored part of the stamens are the anthers; in most cases, the cultivars of Gladiolus have a lilac color. The stigma of the pistil has the most pronounced creamy color, there are also many strains with a crimson color of the pistil. The stamens of the red Gladioli are of mainly lilac color, while the pistil is usually crimson.

Keywords: Gladiolus, seedling, color, stamens, pistil.

В настоящее время актуальной проблемой является создание новых сортов садовых культур, соответствующим современным требованиям, обладающих комплексом ценных хозяйственно-биологических качеств [2], [6]. Цветочные культуры, занимая достойное место среди садовых растений, широко используются как для озеленения, так и для оформления интерьеров, создания красивых букетов и композиций. Гладиолус считается одним из лучших многолетних цветочных растений. Большое признание к себе он снискал благодаря многообразию форм, расцветок, гофрировке и плотности цветков, наличию контрастных цветосочетаний [1], [4], [5]. Гладиолус не зимует в открытом грунте, для его размножения используют клубнелуковицы и клубнепочки, которые выкапывают осенью и хранят зимой при низкой положительной температуре и оптимальной влажности [3], [11]. Цветок у гладиолуса обоеполый, зигоморфный, диаметром от 5 до 15 см и более. Наиболее ценными являются сорта гладиолуса со сдержанным диаметром цветка (12-13 см). Тычинок у гладиолуса три, они прикреплены к расширенной части трубочки, на концах тычиночных нитей имеются удлиненно-цилиндрические пыльники. Пестик в нижней части имеет трехгнездную завязь, далее следуют столбик и трехлопастное рыльце [9], [10]. Наиболее выражена дифференциация и окраска тычинок и пестика в нижней и средней части соцветия гладиолуса [7].

Современный сортимент гладиолуса насчитывает более 10 тысяч наименований. Селекционная работа по гладиолусу направлена на получение новых сортов с высокими уровнями декоративных и хозяйственно-ценных качеств. Необходимо тщательно анализировать ценные генотипы существующих сортов гладиолуса для того, чтобы создать новые гибридные формы, которые в дальнейшем могут стать великолепными сортами. Комплексная оценка сортов позволяет выявить источники ценных качеств для дальнейшей селекции. У гладиолуса особенно значимыми признаками является двухрядный колос, красивая окраска цветка и пятна на нижних долях околоцветника, контрастная окраска тычинок, гофрировка и складчатость лепестков, хороший коэффициент размножения [6].

Целью исследований является изучение окраски важнейших генеративных органов цветка гладиолуса – тычинок и пестика.

Исследования проводились в 2020 г. в лаборатории цветоводства «Федерального научного центра им. И. В. Мичурина» в соответствии с методикой первичного сортоизучения гладиолуса, разработанной в ВИР им. Н. И. Вавилова в 1972 г. [8]. В изучении находились отборные сеянцы гладиолуса собственной селекции (105 отборных сеянцев 2020 г.).

Окраска тычинок и пестика как основных генеративных органов цветка очень важна с декоративной точки зрения, поскольку зачастую она бывает контрастной к расцветке долей околоцветника. У тычинок окрашенными в основном являются пыльники, тычиночная нить, как правило, имеет сливочно-белую, желтоватую или слабую сиреневатую окраску. У пестика наиболее окрашенным является рыльце. Однако столбик и завязь также окрашены, причем менее контрастно, как тычинки и тычиночные нити. Столбик пестика имеет нюансную (сходную) цветовую гамму с рыльцем.

В таблице 1 приведены сравнительные данные по основной окраске цветка, окраске пятна на нижних долях, а также окраске тычинок (пыльников) и пестика.

Проанализированные отборные сеянцы гладиолуса сгруппированы по основным тонам окраски цветка. Как видно из таблицы, у белоокрашенных сортообразцов (11-020, 136-020) тычинки в основном сливочного или светло-сиреневого оттенка, у одного сеянца (16-020) имеются насыщенно-фиолетовые тычинки. Пестик у данных сортообразцов гладиолуса в основном сливочного цвета. У культиваров со светло-салатовой окраской цветка тычинки и пестик в основном светлых тонов. Отборные сеянцы со сливочной окраской цветков имеют сиреневую окраску тычинок, пестик же у них кремовых и желтоватых тонов. У лососево- и розовоокрашенных сеянцев гладиолуса (21-020, 39-020 и др.) окраска тычинок и пестика разнообразна, в том числе проявляются красноватые тона. У изученных культиваров гладиолуса с красной и малиновой окраской тычинки в большинстве случаев имеют сиреневый цвет, а пестик – малиновый. Сиреневоокрашенные сеянцы (61-020, 90-020, 106-020 и др.) обладают тычинками, имеющими пыльники сиреневого цвета, а также с синеватым и сливочным оттенками. Пестик у таких культиваров, как правило, малиновый или сливочный. Наличие синеватого оттенка у тычинок некоторых сортообразцов связано с тем, что в получении данных гибридов использовались родительские формы с сиреневато-синей окраской цветка, например, Синяя Птица.

Таблица 1 – Окраска цветка в сравнении с окраской тычинок и пестика у отборных сеянцев гладиолуса (данные 2020 г.)

Отборный сеянец	Основная окраска цветка	Окраска пятна	Окраска тычинок	Окраска пестика
11-020	белая	светло-салатовая	светло-сиреневая	сливочная
16-020	белая	желтоватая	фиолетовая	розовая
34-020	белая	светло-салатовая	сливочно-белая	сливочно-белая
98-020	белая	-	сиреневая	сливочная
136-020	белая	салатовая	сливочная	сливочная
3-020	светло-салатовая	салатовая	сиреневая	розоватая
12-020	светло-салатовая	салатовая	буровато-желтая	салатовая
33-020	светло-салатовая	желтоватая	сливочная	сливочная
4-020	бледно-желтая	желтая	светло-сиреневая	светло-сиреневая
50-020	сливочная	желтая	сиреневая	кремовая
133-020	сливочная	-	сиреневая	желтая
137-020	сливочная	малиновая	сиреневая	сливочная
21-020	лососевая	желтая	сиреневая	сливочная
39-020	лососевая	красная	вишневая	лососевая
46-020	лососевая	белая	красноватая	сиреневая
1-020	лососево-розовая	светло-желтая	светло-сиреневая	белая
2-020	розовая	малиновая	сиреневая	красноватая
15-020	гвоздично-розовая	-	светло-сиреневая	розовая
20-020	малиново-розовая	вишневая	сливочная	сливочная
24-020	сиренево-розовая	белая	белая	белая
26-020	светло-розовая	сливочно-желтая	малиновая	бледно-малиновая
44-020	розовая	сливочная	синеватая	сливочная
49-020	розовая	сливочная	сиреневая	белая
35-020	алая	белая	сиреневатая	сиреневатая
58-020	красная	-	сиреневая	красная
71-020	красная	белая	сиреневая	красноватая
109-020	красная	вишневая	сиреневая	малиновая
111-020	красная	малиновая	сиреневая	малиновая
60-020	малиновая	сливочная	сиреневая	малиновая
67-020	малиновая	белая	сиреневая	малиновая
75-020	малиновая	розовая	малиновая	сливочная
89-020	малиновая	сливочная	сиреневая	малиновая
95-020	малиновая	белая	сиреневая	малиновая
61-020	сиреневая	желтая	сиреневая	малиновая
90-020	сиреневая	малиновая	синеватая	малиновая
106-020	сиреневая	малиновая	сиреневая	сливочная
123-020	сиреневая	фиолетовая	сливочная	сливочная
124-020	сиреневая	желтая	сиреневая	сиреневая

На рисунке 1 проанализирована встречаемость окраски тычинок у гладиолуса в процентном отношении. Из 105 изученных сеянцев, часть из которых представлена в таблице 1, наибольшее число (66,7%) имеют сиреневую окраску, 10,5% занимают оттенки красного цвета (собственно красный, малиновый, розовый, бордовый, вишневый). Доля от общего числа расцветок, равная 7,6%, отмечена по двум группам окрасок – синеватой и сливочной. Для белой, желтой и салатовой окрасок, которые объединены в одну группу благодаря сходству, характерно 3,7% от общего числа расцветок, для фиолетовой – 2,9%, дымчатой – 1%. Лососевая окраска у тычинок не выражена.

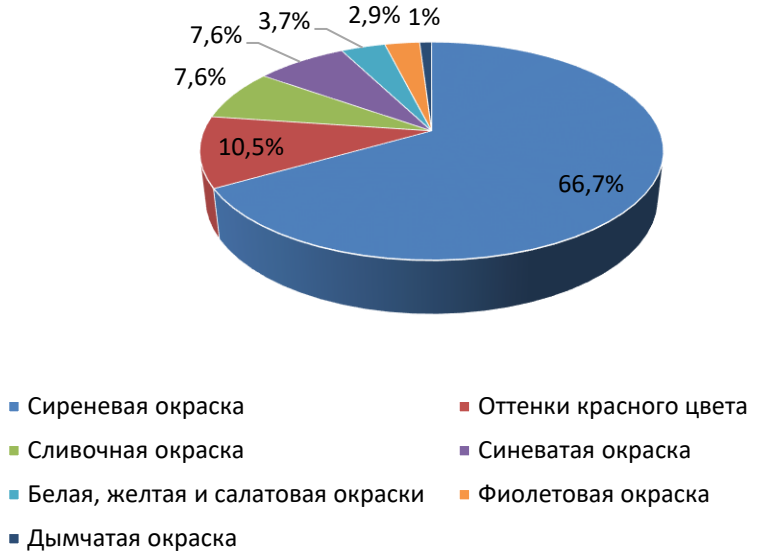


Рис. 1 – Встречаемость окраски тычинок у отборных сеянцев 2020 г.

В окраске тычинок наиболее распространены оттенки красного цвета, особенно малиновый (в 40% случаев), однако преобладание над сливочной окраской пестика невелико (35,2%). Далее в порядке убывания расположились следующие окраски пестика – сиреневая – 12,4%, белая, желтая и салатовая (объединены) – 6,7%, лососевая – 5,7%. Синеватая окраска у пестика не отмечена.

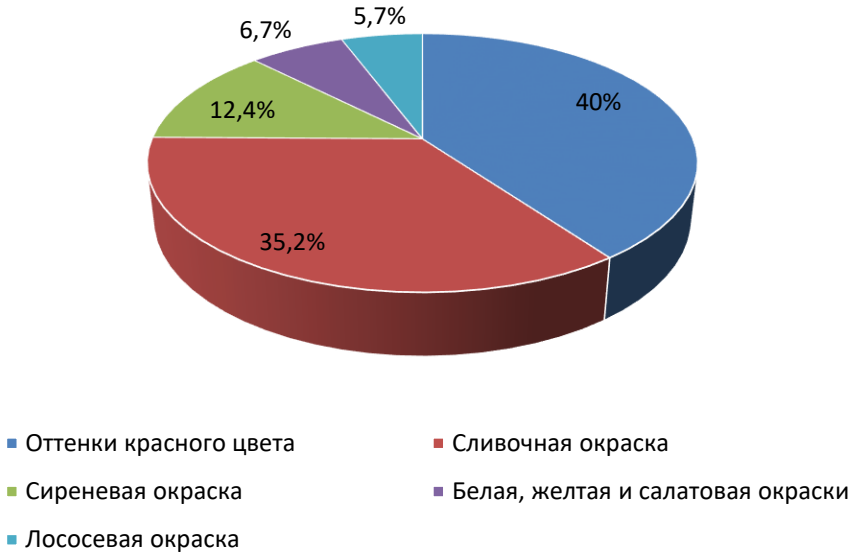


Рис. 2 – Встречаемость окраски пестика у отборных сеянцев 2020 г.

Выводы

1. У гладиолуса в основной окраске преобладают оттенки красного цвета, обусловленные антоцианами. Очень распространена среди сортов розовая и малиновая окраски.
2. Окраска пятна на нижних долях околоцветника имеет в основном светлый тон (белый, сливочный, желтый или салатовый). В связи с этим она хорошо контрастирует с основной окраской и тем самым придает цветку особую декоративность и выразительность.
3. Преобладающей окраской тычинок гладиолуса является сиреневая (встречается у 66,7% из числа проанализированных отборных сеянцев гладиолуса).
4. У пестика гладиолуса особенно выражена сливочная окраска (у 35,2% исследованных культиваров), а также оттенки красного (40%), в частности малиновый цвет. Лососевая окраска не выявлена у тычинок, а синеватая – у пестика.
5. У белоокрашенных гладиолусов контрастная окраска тычинок встречается не часто, но если выражена, то придает цветку особую выразительность и контрастное цветосочетание, как, например, у отборного сеянца 16-020 с фиолетовой окраской пыльников.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Громов А. Н. Гладиолусы. Альбом-справочник / А. Н. Громов. М.: Россельхозиздат, 1981.- 192 с.

2. Зеленцов С.В. Методические основы селекционного процесса у сои и его улучшающие модификации во ВНИИМК (обзор) / С.В. Зеленцов // Масличные культуры - 2020.

3. Ипполитова Н. Я. Цветы на вашей даче / Н. Я. Ипполитова. М., Изд-во ННН, 1997.- 192 с

4. Киреева М. Ф. В мире цветов. Лилии, гладиолусы, астры. Сорта селекции ВНИИС им. И. В. Мичурина / М. Ф. Киреева и др. - Мичуринск-наукоград РФ.- 2010.- 136 с.

5. Китаева Л. А. Календарь цветовода / Л. А. Китаева. М.: Нива России, ”Евразийский регион”, 1997.- 160 с.

6. Кузичева Н.Ю. Управление инновационными процессами в декоративном садоводстве: монография / Н.Ю. Кузичева, О.Б. Кузичев, Д.А. Прохорова. – СПб.: Издательство «Лань», 2019. – 160 с.

7. Мурин А. В. Генетические основы создания исходного материала гладиолуса / А. В. Мурин, В. Н. Лысиков. Кишинев: Штиинца, 1989.- 200 с.

8. Тамберг Т. Г. Методика первичного сортоизучения гладиолуса гибридного / Т. Г. Тамберг. Л.: 1972.- 36 с.

9. Тамберг Т. Г.Гладиолус / Т. Г. Тамберг, В. А. Максимов, К. А. Чесноков. Л., Колос. Ленингр. отд.- 1978.- 160 с

10. Тахтаджян А. Л. Система и филогения цветковых растений / А. Л. Тахтаджян. М.-Л., Изд-во «Наука», 1966.- 612 с.

11. Тельпуховская А. Г. Цветы нашего сада / А. Г. Тельпуховская.- Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1991.- 288 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gromov A. N. Gladiolusy. Al'bom-spravochnik [Gladioli. Album-reference book] / A. N. Gromov. M.: Rosselkhoizdat, 1981. - 192 p. [in Russian]

2. Zelentsov S. V. Metodicheskie osnovy selekcionnogo processa u soi i ego uluchshajushhie modifikacii vo VNIIMK (obzor) [Methodological foundations of the breeding process in soybeans and its improving modifications in VNIIMK (review)] / S. V. Zelentsov // Maslichnye kul'tury [Oilseeds]. - 2020. [in Russian]

3. Ippolitova N. Ya. Cvety na vashej dache [Tsvetov na vashe dacha] / N. Ya. Ippolitova. M., NNN Publishing House, 1997. - 192 p. [in Russian]

4. Kireeva M. F. V mire cvetov. Lilii, gladiolusy, astry. Sorta selekcii VNIIS im. I. V. Michurina [In the world of flowers. Lilies, gladioli, asters. Varieties of selection of VNIIS named after I. V. Michurin] / M. F. Kireeva et al. - Michurinsk-naukograd RF. - 2010. - 136 p. [in Russian]

5. Kitaeva L. A. Kalendar' cvetovoda [Calendar of the flower grower] / L. A. Kitaeva. M.: Niva of Russia, "Eurasian region", 1997. - 160 p. [in Russian]

6.Kuzicheva N. Yu. Upravlenie innovacionnymi processami v dekorativnom sadovodstve: monografija [Management of innovative processes in decorative gardening: monograph] / N. Yu. Kuzicheva, O. B. Kuzichev, D. A. Prokhorova. - St. Petersburg: Publishing house "Lan", 2019. - 160 p. [in Russian]

7. Murin A.V. Geneticheskie osnovy sozdanija ishodnogo materiala gladiolusa [Genetic bases for creating the source material of gladiolus] / A. V. Murin, V. N. Lysikov. Chisinau: Stiinza, 1989. - 200 p. [in Russian]

8. Tamberg T. G. Metodika pervichnogo sortoizuchenija gladiolusa gibridnogo [Methodology of primary variety study of hybrid gladiolus] / T. G. Tamberg. L.: 1972. - 36 p. [in Russian]

9. Tamberg T. G. Gladiolus [Gladiolus] / T. G. Tamberg, V. A. Maksimov, K. A. Chesnokov. L., Kolos. Leningr. ed. - 1978. - 160 p. [in Russian]

10. Takhtajyan A. L. Sistema i filogenija cvetkovyh rastenij [System and phylogeny of flowering plants] / A. L. Takhtajyan. M.-L., Nauka Publishing House, 1966. - 612 p. [in Russian]

11. Telpukhovskaya A. G. Cvety nashego sada [Flowers of our garden] / A. G. Telpukhovskaya.- Irkutsk: East Siberian Book Publishing House, 1991. - 288 p. [in Russian]

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ / CHEMISTRY

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.031

СИНТЕЗ И БИОЦИДНЫЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИТИТАНАТОВ КАЛИЯ

Научная статья

Гороховский А.В.[1,*], Чепель А.А.[2], Морозова Н.О.[3], Хазова А.Б.[4], Тихомирова Е.И.[5], Викулова М.А.[6], Растегаев О.Ю.[7]

[1] ORCID: 0000-0002-4210-3169;
[5] ORCID: 0000-0001-6030-7344;
[6] ORCID: 0000-0003-0092-6922;
[1 - 7] Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия

* Корреспондирующий автор (algo54[at]mail.ru)

Аннотация

Изучена возможность синтеза пероксидной формы полititаната калия (ПТК) при взаимодействии с водным раствором пероксида водорода. Показано, что указанная химическая реакция протекает при комнатной температуре как автокаталитический процесс, в котором пероксидная форма ПТК выступает в качестве катализатора распада молекул H_2O_2. Проанализированы биоцидные свойства полученного продукта в сопоставлении с исходным ПТК и ПТК, модифицированным в водном растворе медного купороса. Показано, что биостатическое действие пероксидной формы ПТК по отношению к грамположительным бактериям и дрожжевым грибкам имеет более высокий уровень, что позволяет рекомендовать этот продукт в качестве биоцидной добавки для лакокрасочных покрытий.

Ключевые слова: полититанат калия, пероксидная форма, синтез, структура, биоцидные свойства.

SYNTHESIS AND BIOCIDAL PROPERTIES OF MODIFIED POTASSIUM POLYTITANATES

Research article

Gorokhovsky A.V.[1,*], Chepel A.A.[2], Morozova N.O.[3], Khazova A.B.[4], Tikhomirova E.I.[5], Vikulova M.A.[6], Rastegaev O.Yu.[7]

[1] ORCID: 0000-0002-4210-3169;
[5] ORCID: 0000-0001-6030-7344;
[6] ORCID: 0000-0003-0092-6922;
[1 - 7] Saratov State Technical University, Saratov, Russia

* Corresponding author (algo54[at]mail.ru)

Abstract

The current study examines the possibility of synthesis of the peroxide form of potassium polytitanate (PPT) in interaction with an aqueous solution of hydrogen peroxide. It is shown that this chemical reaction progresses at room temperature as an autocatalytic process, in which the peroxide form of PPT acts as a catalyst for the decomposition of H2O2 molecules. The biocidal properties of the resulting product were analyzed in comparison with the initial PPT and the PPT modified in an aqueous solution of copper sulfate. It is shown that the biostatic effect of the peroxide form of PPT in relation to gram-positive bacteria and yeast fungi has a higher level, which allows for the recommendation of this product as a biocidal additive for paint coatings.

Keywords: potassium polytitanate, peroxide form, synthesis, structure, biocidal properties.

Введение

В процессе строительства и реконструкции фармацевтических предприятий и медицинских учреждений необходимо соблюдать требования стандартов безопасности. Одним из основных критериев соответствия этим нормам является чистота производственных и клинических помещений. Данное обстоятельство определяет особые требования к стенам таких помещений и, соответственно, к используемым в них лакокрасочным материалам, которые должны содержать биоцидные добавки, препятствующие появлению и развитию плесени, грибков и других микроорганизмов на покрашенной поверхности [1]. Традиционно для этих целей используют добавки серебра, имеющие высокую стоимость, или высокотоксичные соединения, эффективные концентрации которых превышают гигиенические нормативы (лимиты), а разрешенные к использованию концентрации не обеспечивают достижение необходимых биоцидных свойств. К указанным веществам относятся соли четвертичного аммония и их производные, оловоорганические соединения, а также соединения моновалентной меди [2], [3], [4].

В этой связи, актуальной задачей является поиск новых видов соединений, обладающих высокой активностью в уничтожении болезнетворных микроорганизмов и, в то же время, безопасных для человека и не приводящих к загрязнению окружающей среды.

Известно [3], что при действии пероксида водорода на раствор, содержащий метатитановую кислоту (H_2TiO_3) в коллоидном состоянии, возможна замена всех гидроксогрупп на пероксидные, а в кислой среде образование монопероксидных ионов $[Ti(O_2)(H_2O)_n]^{2+}$ ярко-желтого цвета. Образующаяся при этом пероксотитановая кислота, обладает выраженными окислительными свойствами [5]; однако, в процессе синтеза, она образуется в форме коллоидного раствора, содержащего наноразмерные частицы дисперсной фазы, выделение которой из дисперсионной среды (вода) для технического применения представляет собой сложную технологическую задачу.

Данное исследование было проведено с целью - выяснить возможность синтеза аналога пероксотитановой кислоты, имеющего высокой содержание пероксо-групп и высокие бактерицидные свойства, при взаимодействии субмикроразмерных порошков слоистых частиц неорганического полимера, известного как полититанат калия (ПТК) [6], с водным раствором пероксида водорода.

Полититанат калия представляет группу соединений с общей химической формулой $K_2O \cdot nTiO_2 \cdot mH_2O$ (n = 3–11, m = 1–3). Частицы ПТК имеют сильно искаженную слоистую структуру подобную структуре кристаллического лепидокрокита, которая сформирована двойными слоями титан-кислородных октаэдров, между которыми располагаются ионы калия и гидроксония, компенсирующие отрицательный заряд титанкислородных полианионов, а также молекулы воды. Межслойное расстояние в частицах варьируется в диапазоне 0,1–1,1 нм. Большое межслойное пространство обуславливает высокие значения удельной поверхности порошков ПТК, а также их высокую реакционную способность [6].

С другой стороны, ранее, авторами была разработана методика синтеза политиатаната калия, модифицированного соединениями моновалентной меди в виде наноразмерных оксидно-гидроксидных комплексов, которые формируются на поверхности частиц ПТК за счет восстановительного действия трехвалентного титана (Ti^{3+}), присутствующего в структуре ПТК [6], [7]. Однако биоцидные свойства данного соединения ранее не изучались.

В связи с вышесказанным, целью настоящего исследования было сравнительное изучение биоцидных (бактерицидных и фунгицидных) свойств как исходного полититаната калия, так и продуктов его взаимодействия с водными растворами пероксида водорода и сульфата меди.

Методы и принципы исследования

Исходный ПТК был синтезирован в соответствии с работой [6]. Порошкообразный TiO_2 (анатаз, чистота 99%, средний размер частиц 7 мкм) обрабатывали в расплаве смеси KOH и KNO_3 в электрической печи при 500°С в течение 2 часов в алундовом тигле при массовом соотношении TiO_2:KOH:KNO_3 = 3:3:4. Полученный продукт промывали дистиллированной водой (20 весовых частей H_2O на 1 весовую часть твердого продукта). Далее порошок отфильтровывали с помощью бумажного фильтра (Whatman No 40), полученный продукт просушивали в сушильном шкафу при 40ºС в течение 8 часов, подвергали помолу в высокоэнергетической шаровой мельнице Pulverizette 2 и далее использовали для исследований.

Химическая реакция ПТК с водным раствором пероксида водорода проводилась в стакане из химически стойкого лабораторного стекла. Навеску 2 г порошка ПТК вводили в 30 мл 11% водного раствора пероксида водорода и проводили реакцию при постоянном перемешивании полученной дисперсии магнитной мешалкой.

Полититанат калия, модифицированный в водном растворе сульфата меди, получали согласно методике, представленной в работе [7]. Порошок базового ПТК (1г) вводили в 0,02М водный раствор $CuSO_4 \cdot 7H_2O$ и выдерживали дисперсию в течение 4 ч при постоянном перемешивании с помощью магнитной мешалки. По окончании обработки дисперсию отстаивали, декантировали раствор и промывали полученный порошкообразный продукт лазурного цвета дистиллированной водой (10 весовых частей H_2O на одну весовую часть продукта), а затем - отфильтровывали на бумажном фильтре (Whatman No 40).

Полученные порошки, далее обозначенные как *ПТК* (базовый полититанат калия), *ППТК* (пероксидированная форма ПТК) и *ПТК/Cu* (ПТК, обработанный в водном растворе медного купороса), использовали для изготовления прототипов лакокрасочных материалов с использованием в качестве водорастворимого связующего – карбоксиметилцеллюлозу натрия (КМЦ) при весовом соотношении порошок : КМЦ : H_2O = 1 : 1 : 6. Перемешивание компонентов и гомогенизацию дисперсии проводили с помощью пропеллерной мешалки в течение 1 ч.

Морфологию частиц синтезированных материалов изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа Aspex EXplorer, оснащенного приставкой для анализа химического состава методом энергодисперсионного (ЭДС) анализа. По результатам ЭДС анализа состав исходного порошка ПТК включал (масс.%): K_2O (19,8), TiO_2 (76,9), SiO_2 (2,1), Al_2O_3 (1,1); а состав ПТК, модифицированного в водном растворе сульфата меди: K_2O (10,8), TiO_2 (80,7), SiO_2 (2,2), Al_2O_3 (1,2) Cu_2O (5,1)

Фракционный анализ порошков проводился с использованием лазерного анализатора размера частиц Analysette 22 Microtec Plus, а их фазовый состав - с помощью рентгеновского дифрактометра ARL X'TRA (CuK_α, λ = 0.15439 нм) в интервале углов 2Ѳ от 5 до 60º. ИК – спектры исследуемых порошков регистрировали с использованием ИК Фурье-спектрометра ФТ-801.

Биостатический эффект синтезированных порошков изучали на примере следующих микроорганизмов:

• *Escherichia coli*, грамотрицательная палочковидная бактерия,

• *Staphylococcus aureus*, грамположительная кокковидная бактерия,

• *Candida albicans*, дрожжеподобный гриб.

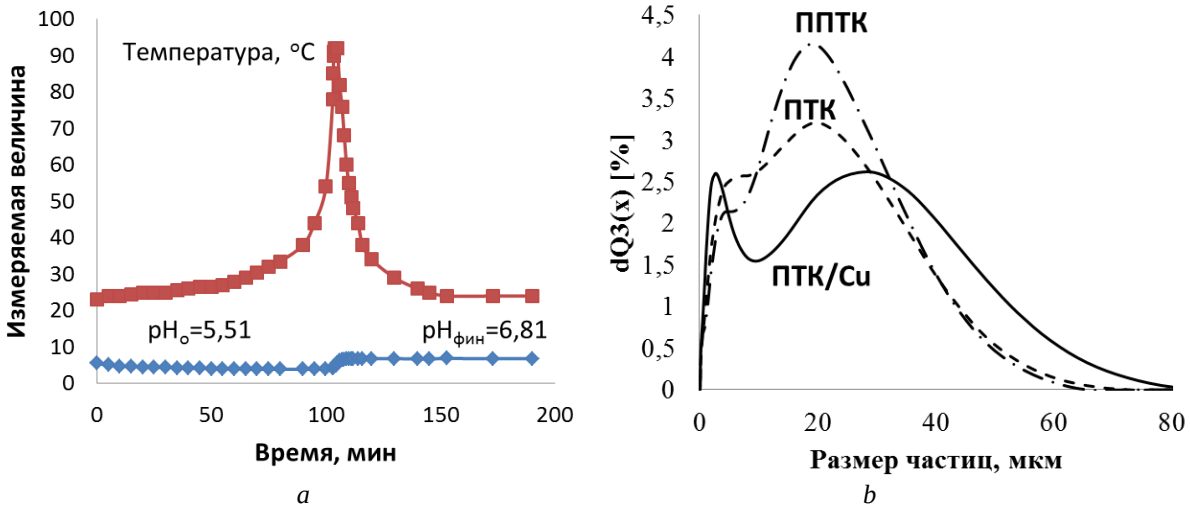
Эксперименты проводили в соответствии со стандартными методиками лабораторных исследований и испытаний медико-профилактических дезинфекционных средств для оценки их эффективности и безопасности (Руководство Роспотребнадзора Р 4.2.2643-10).

Образцы порошков наносили на диски диаметром 5 мм, изготовленные из стерильной фильтровальной бумаги (ГОСТ 12026-76). Пропитку фильтровальной бумаги водными дисперсиями синтезированных порошков (модельные краски) проводили с помощью микропипетки до достижения массовой доли покрытия в 10%, а затем высушивали образец при комнатной температуре в течение 3ч. Полученные диски (3 экземпляра каждого типа) размещали на поверхности плотной питательной среды (агар по ГОСТ 16280-2002), засеянной культурой одного из вышеуказанных микроорганизмов. Культивирование осуществляли при 37 °С (*Escherichia coli, Staphylococcus aureus*) и 32 °С (*Candida albicans*) в течение 72 ч.

Количественный учёт результатов проводили путём измерения размера зоны задержки роста микробной культуры вокруг размещённых дисков с последующей статистической обработкой результатов измерений. При культивировании на питательной плотной среде контрольных образцов микроорганизмов пропитанные дисперсиями синтезированных порошков диски не применялись.

Основные результаты и их обсуждение

Химическая реакция взаимодействия исходного ПТК (порошок белого цвета) с водным раствором пероксида водорода протекала с разогревом системы до ~ 90 ºС (температура водной дисперсии регистрировалась с помощью ртутного термометра, рисунок 1) и сопровождалась бурным выделением газообразного кислорода.



a *b*

Рис. 1 – Изменение параметров водной дисперсии порошка ПТК в процессе его взаимодействия с водным раствором H_2O_2 (*a*) и распределение частиц порошков различных видов ПТК по размеру (*b*)

При этом, по мере протекания реакции величина водородного показателя реакционной среды (дисперсии) при разогреве увеличивалась от 5,51 до 6,81. Согласно литературным данным [8], [9], [10], именно при T>40 ºС начинается термическое разложение H_2O_2.

Можно предположить, что на начальной стадии реакции разложение H_2O_2 протекает по каталитическому механизму, аналогичному механизму действия MnO_2 [8], [9], [10] в котором, благодаря присутствию Ti^{3+} в структуре ПТК, процесс развивается следующим образом:

$$Ti^{3+}\text{-}O\text{-}Ti^{4+} + H_2O_2 = Ti^{4+}\text{-}O(OH)\text{-}Ti^{4+} + OH^-$$
$$Ti^{4+}\text{-}O(OH)\text{-}Ti^{4+} + H_2O_2 + OH^- = Ti^{3+}\text{-}O\text{-}Ti^{4+} + O_2 + 2H_2O$$

Благодаря встраиванию пероксидных групп, сформированных в структуре ПТК, в активированный комплекс с молекулой H_2O_2, энергия активации реакции окислительно-восстановительного диспропорционирования снижается, и каталитический процесс начинается при комнатной температуре, однако, выделяющаяся при распаде молекул H_2O_2 энергия приводит к постепенному саморазогреву дисперсии [11]. В растворе начинает протекать гомогенная реакция термического распада пероксида водорода:

$$H_2O_2 = H_2O + ½\ O_2 + 98\ кДж/моль.$$

После завершения реакции на дне стакана оседает порошок, состоящий из частиц продукта ярко желтого цвета, свидетельствующий о присутствии в его структуре пероксидных групп [11].

Данные электронной микроскопии (рисунок 2) свидетельствуют о том, что частицы всех исследованных материалов имеют подобную структуру, которая сформирована слоистыми субмикроразмерными чешуйками ПТК, образующими агломераты различного размера (рисунки 1 и 2). При этом, для всех исследованных порошков можно выделить одну группу агломератов со средним размером 2-3 мкм и другую – со средним размером 25-30 мкм.

Также обращает на себя внимание то, что обработка порошка ПТК в растворе H_2O_2 приводит к более интенсивной агломерации слоистых частиц (рисунок 1), в то время как модификация в растворе сульфата меди – вызывает увеличение доли агломератов небольшого размера (1-3 мкм). При этом, согласно данным рентгеновского фазового анализа (рисунок 3), все виды продуктов, полученных н основе ПТК сохраняют квазиаморфную структуру, при наличии широких рефлексов низкой интенсивности при углах 2Ѳ равными 29º и 48º, характерных для базового порошка ПТК.

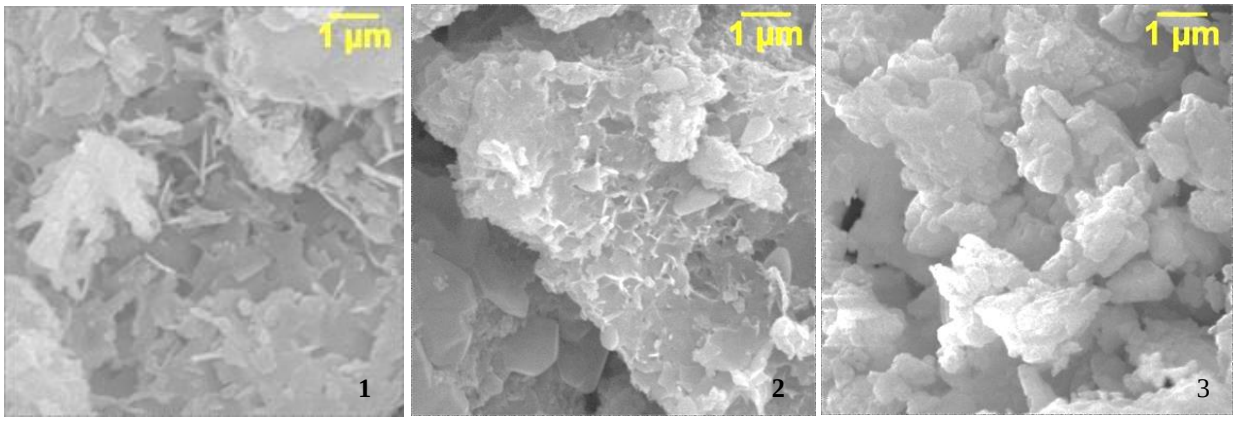


Рис. 2 – Электронные фотографии порошков ПТК (*1*), ПТК/Cu (*2*) и ППТК (*3*)

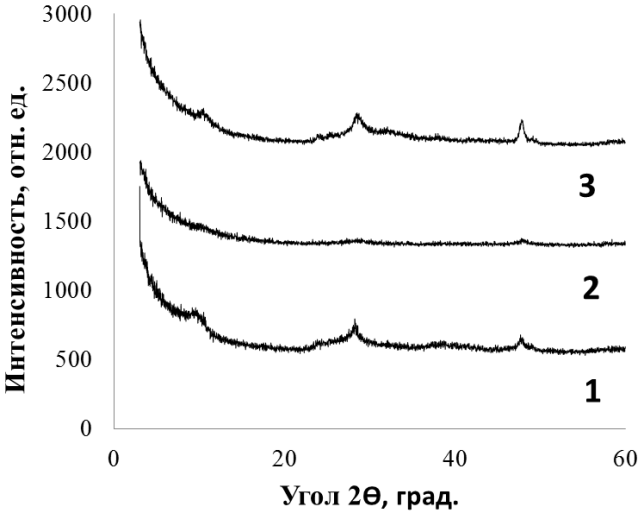
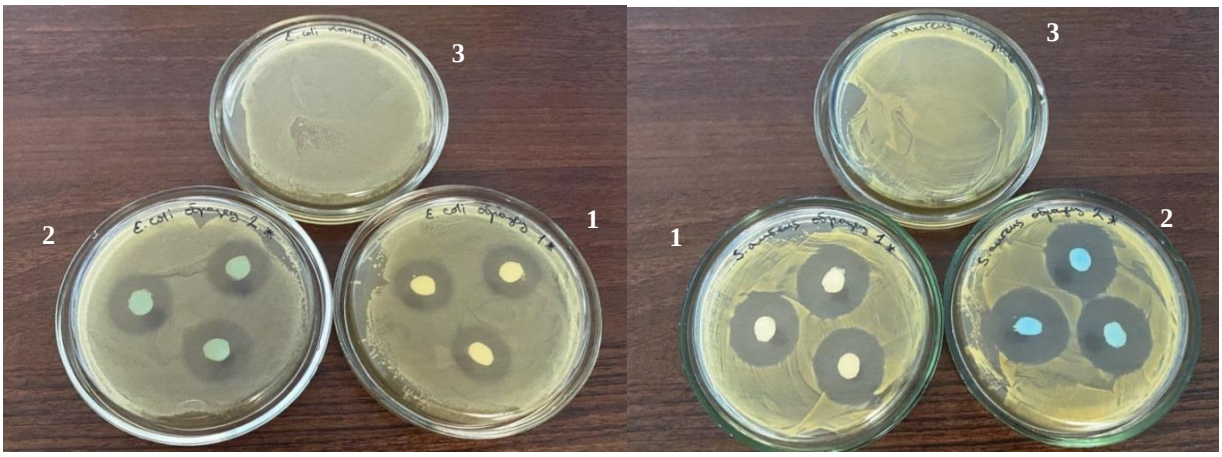


Рис. 3 – Рентгенограммы (слева) порошков исходного ПТК (*1*), его пероксидной формы ППТК (*2*) и ПТК, модифицированного соединениями меди ПТК/Cu (*3*)

Результаты исследования биостатического действия образцов лакокрасочных покрытий, изготовленных с использованием синтезированных порошков, представлены в таблице 1 и на рисунке 4. Полученные данные показывают, что оба использованных способа модифицирования полититаната калия придают ему высокие микробостатические свойства к бактериям и дрожжевым грибам.

Таблица 1 – Зона задержки роста микробных культур на плотной питательной среде (агар)

Вид материала	Размер задержки зоны роста для различных микробных культур, мм		
	Escherichia coli	*Staphylococcus aureus*	*Candida albicans*
Базовый ПТК	1,0 ± 0,2	0,5 ± 0,1	0,5± 0,1
ПТК/Cu	7,0 ± 0,2	11,0 ± 0,3	10 ± 0,2
ППТК	6,3 ± 0,2	12,6 ± 0,3	11,0 ± 0,2



a *b*

Рис. 4 – Микробостатическое действие ППТК (*1*) и ПТК/Cu (*2*) по отношению к бактериям *Escherichia coli* (*a*) и *Staphylococcus aureus* (*b*). Контрольный образец (*3*)

Отметим, что биостатическое действие по отношению к грамположительным бактериям более выражено у пероксидной формы ПТК (таблица 1, рисунок 4). По отношению к грамотрицательным бактериям они также высоки, но несколько уступают действию ПТК, модифицированного соединениями меди (ПТК/Cu).

Заключение

Полученные экспериментальные результаты позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Частицы квазиаморфного полититаната калия (ПТК), имеющего слоистую структуру, интенсивно взаимодействуют с водными растворами пероксида водорода с выделением молекулярного кислорода и формированием своей пероксидной формы, имеющей ярко желтый цвет. При этом, реакция разложения пероксида водорода начинается по каталитическому механизму, в котором частицы ПТК, действуют в качестве гетерогенного катализатора. Механизм каталитического действия ПТК, предположительно, аналогичен ранее описанному в литературе механизму действия на указанную химическую реакцию частиц MnO_2 и может быть связан с присутствием в структуре ПТК трехвалентного титана, способного, вступая в окислительно – восстановительное взаимодействие с молекулами H_2O_2, обратимо изменять свою степень окисления по схеме $Ti^{3+} \leftrightarrow Ti^{4+}$.

2. Структура частиц пероксидной формы ПТК не имеет существенных отличий от слоистой структуры частиц исходного ПТК. Можно предположить, что к увеличению размеров отдельных частиц ПТК и их агломератов приводит увеличение расстояния между слоями, сформированными титанкислородными октаэдрами (полианионами) в структуре полититаната калия. В частности, увеличению межслойного расстояния могут способствовать ионообменные процессы, протекающие в системе в ходе реакции ($K^+ \leftrightarrow H_3O^+$), а также формирование и фиксирование в межслойном пространстве дополнительных молекул воды, образующихся в качестве продукта реакции разложения H_2O_2.

3. Проведенные исследования свидетельствуют о высокой биоцидной активности полученной пероксидной формы полититаната калия (ППТК). Сравнение биостатического действия пероксидной формы ПТК (ППТК) с действием на микроорганизмы базового ПТК и ПТК, модифицированного соединениями меди (ПТК/Cu), показывает, что активность ППТК по отношению к грамотрицательным бактериям сопоставима с действием ПТК/Cu, а по отношению к грамположительным бактериям и дрожжевым грибам - превосходит его.

4. С учетом того, что пероксидная форма ПТК не содержит тяжелых металлов, и ее синтез не может быть связан с каким-либо возможным загрязнением окружающей среды, данный материал может быть рекомендован в качестве биоцидного компонента лакокрасочных материалов на основе стабильных к окислению полимерных связующих, например, таких как производные целлюлозы.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC [Electronic resource]. – URL: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32011R0305 (accessed 12.04.2021)

2. Zielecka M. Antimicrobial additives for architectural paints and impregnates / M. Zielecka, E.Bujnowska, B.Kępska, et al. // Progress in Organic Coatings .- 2011 .- V.72 .- No 1–2 .- P.193-201.

3. Vakhitova L. Examining the effect of nanosilver on the antibacterial fire-retardant coatings for pharmaceutical enterprises / L. Vakhitova, V. Bessarabov, K. Kalafat et al. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.- 2017.- Vol. 88.- No 4/6.- P.4-9.

4. Xue, Y. Antimicrobial Polymeric Materials with Quaternary Ammonium and Phosphonium Salts / Y. Xue, H. Xiao,Y. Zhang // International Journal of Molecular Sciences .– 2015.–V.16.-No2.–P.3626–3655. doi: 10.3390/ijms16023626

5. Nakayama M. Titanium peroxide nanoparticles enhanced cytotoxic effects of X-ray irradiation against pancreatic cancer model through reactive oxygen species generation in vitro and in vivo / M. Nakayama, R. Sasaki, C. Ogino et al. // Radiation Oncology.- 2016.- V.11.-No 91.- P.2-11. DOI 10.1186/s13014-016-0666-y

6. Sanchez-Monjaras T. Molten salt synthesis and characterization of polytitanate ceramic precursors with varied TiO_2/K_2O molar ratio / T. Sanchez-Monjaras, A.V.Gorokhovsky, J.I.Escalante-Garcia // Journal of the American Ceramic Society.- 2008.- V. 91- No 9.- P. 3058-3065. DOI: 10.1111/j.1551-2916.2008.02574.x

7. Tretyachenko E.V. Adsorption and photo-catalytic properties of layered lepidocrocite-like quasiamorphous compounds based on modified potassium polytitanates / E.V. Tretyachenko., A.V.Gorokhovsky, G.Yu Yurkov et al. // Particuology.- 2014.- V.17.- P.22-28. DOI: 10.1016/j.partic.2013.12.002

8. Do S.-H. Hydrogen peroxide decomposition on manganese oxide (pyrolusite): Kinetics, intermediates, and mechanism / B. Batchelor, H.-K. Lee, S.-H. Kong // Chemosphere .- 2009 .- V.75 .- No1.- P.8–12. doi:10.1016/j.chemosphere.2008.11.075

9. Hasan M.A. Promotion of the hydrogen peroxide decomposition activity of manganese oxide catalysts / M.A. Hasan, M.I. Zaki, L. Pasupulety, K.Kumari // Applied Catalysis A: General .- 1999,- V.181.- P. 171-179 DOI: 10.1016/S0926-860X(98)00430-X

10. He X. Novel H_2O_2–MnO_2 system for efficient physico-chemical cleaning of fouled ultrafiltration membranes by simultaneous generation of reactive free radicals and oxygen / X. He, B. Li, P. Wang, J. Ma // Water Research.- 2019.-V.167.- No 115111.-P.1-9. DOI: 10.1016/j.watres.2019.115111

11. Du Y. Microwave-Assisted Synthesis of High-Energy Faceted TiO_2 Nanocrystals Derived from Exfoliated Porous Metatitanic Acid Nanosheets with Improved Photocatalytic and Photovoltaic Performance / Y. Du, X. Niu, W. Li, et al. // Materials.- 2019.- V. 12.- No 3614. DOI:10.3390/ma12213614

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.032

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОСТРУКТУРИРОВАННОГО КОКСА МОДЕЛИРОВАНИЕМ В СРЕДЕ ASPEN PIMS

Научная статья

Ганцев А.В.[1], Горская А.Р.[2, *], Тангатаров Т.Р.[3]

[1, 2, 3] Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

* Корреспондирующий автор (ahtyamova.adel[at]mail.ru)

Аннотация

В данной статье исследуется возможность выработки игольчатого кокса на имеющихся мощностях одного из нефтеперерабатывающих заводов России. Получение данного продукта позволит сохранить актуальность установки замедленного коксования на фоне строительства новых мощностей, а также снизит зависимость металлургической отрасли от импорта игольчатого кокса. При этом высокая стоимость продукта позволит сохранить на прежнем уровне рентабельность переработки тяжелых нефтяных остатков (ТНО) нефтеперерабатывающего предприятия (НПП). Для расчета возможности безубыточной переработки ТНО в высокоструктурированный продукт используется программа линейного моделирования Aspen PIMS, которая позволила качественно проанализировать результаты, определить целесообразность и эффективность предлагаемого мероприятия, а также оценить влияние на товарную корзину НПП.

Ключевые слова: замедленное коксование, игольчатый кокс, тяжелый газойль, металлургия, моделирование, нефтепродукты.

AN INVESTIGATION OF THE PROCESS OF OBTAINING HIGH-VALUE PETROLEUM COKE VIA ASPEN PIMS MODELING

Research article

Gantsev A.V.[1], Gorskaya A.R.[2, *], Tangatarov T.R.[3]

[1, 2, 3] Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

* Corresponding author (ahtyamova.adel[at]mail.ru)

Abstract

The article examines the possibility of producing needle coke at the present capacities of one of the Russian oil refineries. Obtaining this product will allow for maintaining the relevance of the delayed coking plant against the background of the formation of new capacities, and also reduce the dependence of the metallurgical industry on the import of needle coke. At the same time, the high cost of the product will allow the profitability of black oil processing of the oil refining enterprise to remain at the same level. To calculate the possibility of break-even processing of black oil into a highly structured product, the Aspen PIMS linear modeling program is used, which allowed the authors to qualitatively analyze the results, determine the feasibility and effectiveness of the proposed action, as well as assess the impact on the market basket of the oil refining enterprise.

Keywords: delayed coking, needle coke, heavy gas oil, metallurgy, modeling, petroleum products.

Введение

В настоящее время в условиях сложившейся внешнеэкономической ситуации большое значение для ведущих отраслей отечественной промышленности: оборонной, атомной, металлургической и т.д.; представляет организация промышленного производства игольчатого кокса в России. Большая часть потребления игольчатого кокса приходится на металлургическую промышленность, а именно на технологию электросталеплавления, чья доля составляет 30 % всех производимых отечественных сталей [1]. Так, за 2019 г. предприятия, занимающиеся выпуском электродов, нарастили объемы закупки на 8,4 % за счет импорта игольчатого кокса для производства качественных графитированных электродов [2]. Зависимость сталеплавительной отрасли от импорта является важной проблемой, так как в условиях сегодняшних экономический санкций приводит к высокому риску остановки производства в ведущих отраслях промышленности.

По технологии получения электростали в электродуговых печах используются графитированные электроды типа ЭГСП (Э – электрод; Г – графитированный; С – специальный; П– пропитанный, по международной маркировке UHP – Ultra High Power), которые создают электрическую дугу и впоследствии расплавляют железосодержащее сырье, далее металл доводится до необходимых физико-химических свойств в агрегатах ковш-печь (АКП) [3]. Для производства данных электродов и нужен игольчатый кокс.

Одним из возможных вариантов получения ценного сырья для металлургической промышленности является получение игольчатого кокса на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) [4, С. 374–375]. На сегодняшний день в России в эксплуатации находятся 32 НПЗ, на которых работает более 8 установок замедленного коксования, перерабатывающих тяжелые нефтяные остатки (ТНО) первичных и вторичных процессов с целью углубления нефтепереработки [5]. Для производства игольчатого кокса на установках замедленного коксования требуется пересорт сырья с ТНО ввиду содержания в них большого количества серы и асфальто-смолистых веществ на тяжелые каталитические газойли установок каталитического крекинга (ТКГ). Данное сырье имеет достаточную коксуемость, малое содержание серы и значительное содержание ароматических соединений. Именно такое малосернистое и богатое ароматическими углеводородами сырье позволит получить кокс анизотропной структуры с ценными свойствами: низкими значениями коэффициента температурного расширения и удельного электрического сопротивления [6, С. 104].

Методы и принципы исследования

Для определения эффективности выпуска нового продукта на НПЗ используется распространенная и широко используемая программа оптимизационного планирования Aspen PIMS, которая позволяет качественно проанализировать результаты и определить целесообразность предлагаемого мероприятия еще на стадии проекта.

Aspen PIMS – программа линейного моделирования, при помощи которой на НПЗ решаются производственные и бизнес-процессы: факторный анализ бизнес-планирования и текущего планирования, ретроанализ от текущего плана к факту, расчет производственной программы, оценка мероприятий повышения операционной эффективности и т.д. [7].

Модель PIMS состоит из множества таблиц-данных, на основе которых формулируется и решается модель линейного программирования, описывающая завод через подмодели-технологические установки, при этом учитывается множество входных факторов: стоимость сырья, утилит, продукции, логистические и технологические ограничения.

Процесс оценки производства нового продукта состоит из следующих этапов:

- расчет производственной программы в Aspen PIMS, версия 11, позволяет определить оптимальность принятого решения;
- расчет изменения затрат от базового варианта на закупку сырья, утилиты и т.д.;
- расчет выручки от предложенного мероприятия в зависимости от изменения товарной корзины.

Основные результаты

Описание результатов моделирования процесса производства игольчатого кокса в программе линейного моделирования Aspen PIMS.

В соответствии со стратегией развития НПЗ с 2026 года планируется реализация крупного инвестиционного проекта по строительству установки замедленного коксования УЗК–2000, что позволит достичь глубину переработки нефти на уровне более 95 %. Совместно с вводом в эксплуатацию установки замедленного коксования мощностью 2 млн.т./год планируется строительство трубопровода по передаче тяжелых нефтяных остатков (ТНО) с одной производственной площадки на другую.

Для сравнения изменения эффективности уже работающей УЗК мощностью 700 тыс.т./год произвели расчеты на долгосрочной глобальной модели 2021–2041 гг. В качестве оценочных моделей были выбраны 2024 г. – годовая модель без реализации проекта УЗК–2000; а также 2028 г. – годовая модель с учетом реализации проекта. Целью данного расчета является анализ изменения экономических потерь от простоя УЗК мощностью 700 тыс.т./год на протяжении всего периода моделирования.

Таблица 1 – Расчет простоя УЗК

Показатель	2024 г.	2028 г.
Объем переработки, тыс.т./год	18 609,77	18 609,77
Экономический эффект, тыс. руб./год	-9 391 262,8	-6 997 890,04
Простой, тыс. руб/сут.	-25 659,05	-19 120,31

Из таблицы выше (см. таблицу 1) видно, что с учетом одинакового объема нефтепереработки по году, а также равными внешними макропараметрами (цены, спрос на товарные нефтепродукты) разница от простоя УЗК на модели «с проектом» и «без проекта» составляет порядка +2,4 млрд. руб./год, т.е. эффективность установки замедленного коксования значительно снижается исходя из понесенных потерь от простоя технологической установки в денежном эквиваленте на 26 %.

Представленные расчеты лишь подтверждают, что при реализации крупного инвестиционного проекта по строительству УНПЗ - 2000 появляется возможность использовать установку замедленного коксования мощностью 700 тыс.т./год для выработки ценного продукта – игольчатого кокса.

В процессе моделирования нового режима на установке замедленного коксования вводится ряд исходных данных для определения наилучшего решения. Так, в модель одного из российских НПЗ в таблице CASE прописали сценарий (вариант) мероприятий по получению нового продукта, путем изменения значений во входных таблицах PIMS и путем изменения соответствующей установки модели.

В качестве сырья выбраны тяжелые газойли (ТКГ 1, ТКГ 2), имеющихся на НПЗ установок каталитического крекинга и остаток термического крекинга вакуумного газойля. Проведены лабораторные исследования сырья на возможность получения из них игольчатого кокса (см. рисунок 1).

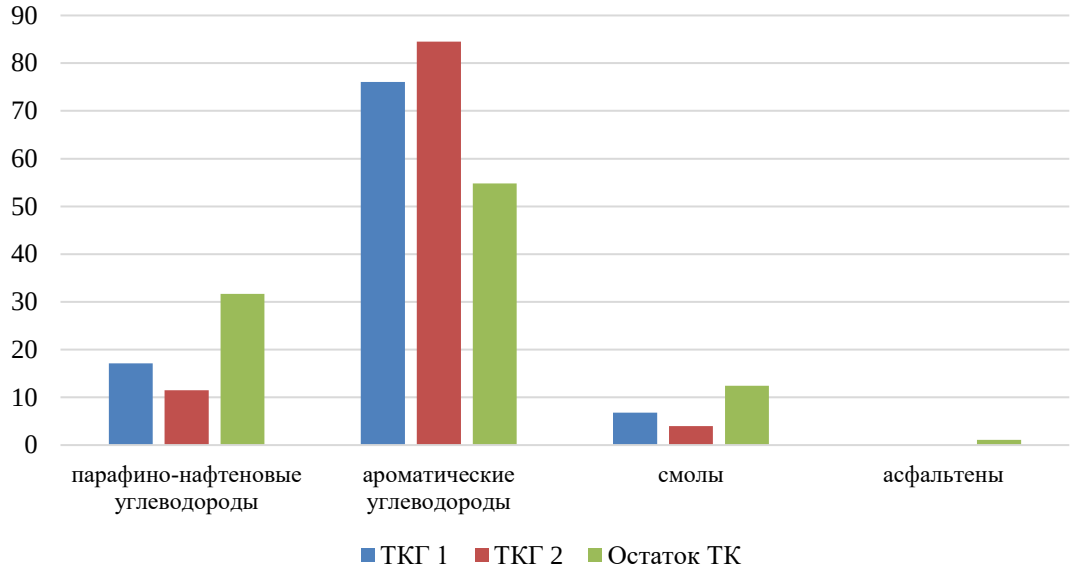


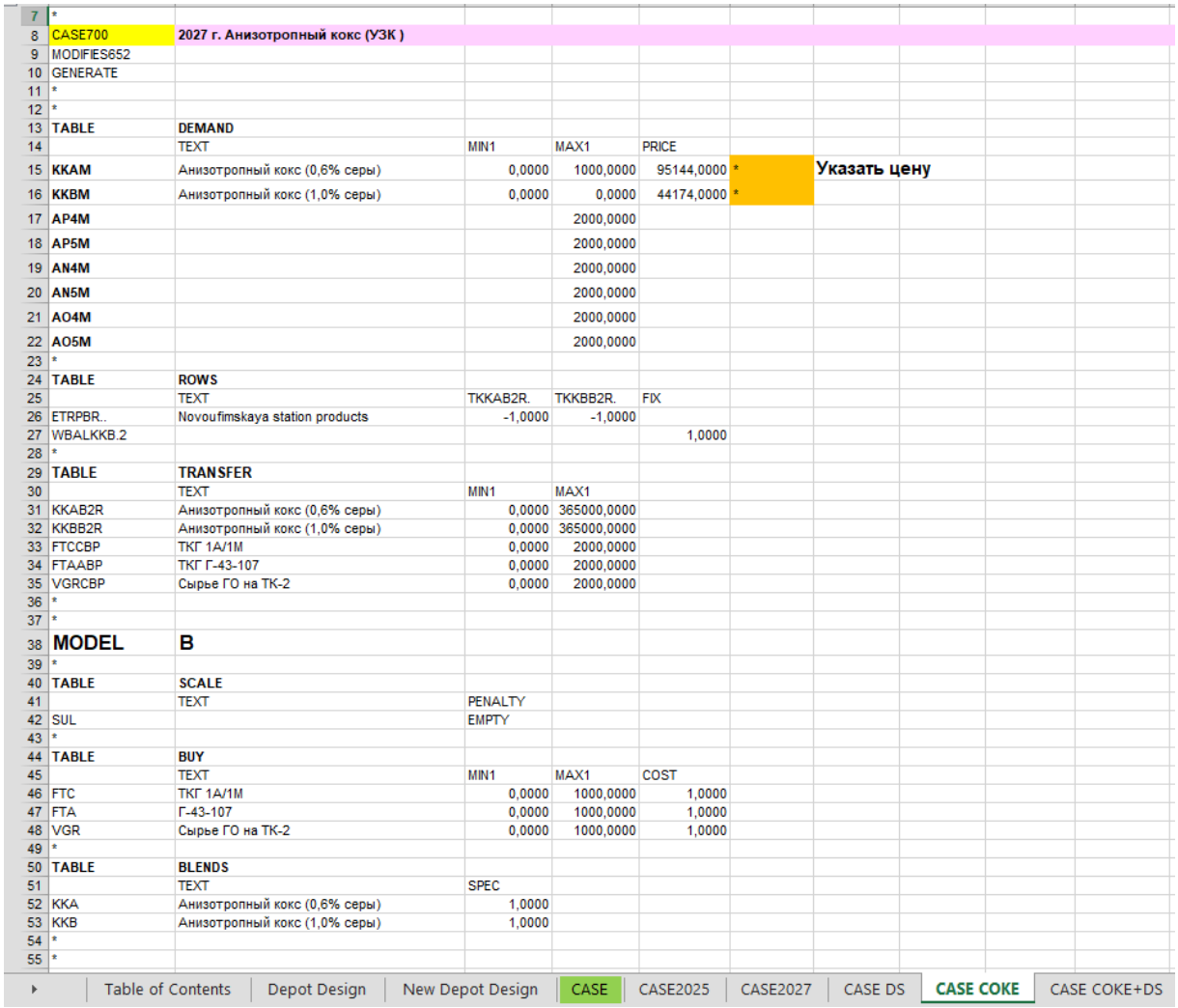
Рис. 1 – Групповой состав исследуемого сырья

Из графика видно, что предлагаемое сырье обладает достаточным содержанием ароматических соединений и смол, присутствие которых приводит к образованию однородной мезофазы, в процессе чего формируется струйчатая (волокнистая) анизотропная структура до образования конечной твердой фазы кокса. За счет того, что в сырье практически отсутствуют асфальтены коксующаяся масса больше времени пребывает в полужидком состоянии, отдача продуктов реакций распада и уплотнение реакционной массы проходит легче [8, С. 24]. Таким образом, игольчатый кокс обладает низким содержанием летучих веществ и меньшей пористостью. Содержание серы и коксуемость, соответственно, составляет для ТКГ 1 =0,48 % масс., 0,9% ,ТКГ 2 =0,55% масс.,1,28% , и остатка термического крекинга = 0, 9% масс.. 8,9% масс..

В программу мы внесли следующие исходные данные:

1. Ограничения по выпуску игольчатого кокса, цены на новый продукт;
2. «Расшили» продажу мазута;
3. Прописали уравнением отгрузку кокса на ЖД;
4. Прописали свойства получаемого кокса на основании имеющихся данных опытно-промышленного пробега установки на ТКГ;
5. В подмодели сырья УЗК прописали возможность подачи тяжелого газойля крекинга;
6. Определили и внесли ограничения по мощности УЗК с учетом удлиненного цикла;
7. Внесли материальные балансы на режиме переработки тяжелых каталитических газойлей, а также качественные характеристики получаемых продуктов.
8. Все изменения прописаны дополнительным вектором в подмодели УЗК.

На рисунке 2 приведен фрагмент ввода исходных данных при помощи таблицы CASE модели НПЗ.



7	*						
8	CASE700	2027 г. Анизотропный кокс (УЗК)					
9	MODIFIES652						
10	GENERATE						
11	*						
12	*						
13	TABLE	DEMAND					
14		TEXT	MIN1	MAX1	PRICE		
15	KKAM	Анизотропный кокс (0,6% серы)	0,0000	1000,0000	95144,0000	*	Указать цену
16	KKBM	Анизотропный кокс (1,0% серы)	0,0000	0,0000	44174,0000	*	
17	AP4M			2000,0000			
18	AP5M			2000,0000			
19	AN4M			2000,0000			
20	AN5M			2000,0000			
21	AO4M			2000,0000			
22	AO5M			2000,0000			
23	*						
24	TABLE	ROWS					
25		TEXT	TKKAB2R.	TKKBB2R.	FIX		
26	ETRPBR..	Novoufimskaya station products	-1,0000	-1,0000			
27	WBALKKB.2				1,0000		
28	*						
29	TABLE	TRANSFER					
30		TEXT	MIN1	MAX1			
31	KKAB2R	Анизотропный кокс (0,6% серы)	0,0000	365000,0000			
32	KKBB2R	Анизотропный кокс (1,0% серы)	0,0000	365000,0000			
33	FTCCBP	ТКГ 1А/1М	0,0000	2000,0000			
34	FTAABP	ТКГ Г-43-107	0,0000	2000,0000			
35	VGRCBP	Сырье ГО на ТК-2	0,0000	2000,0000			
36	*						
37	*						
38	MODEL	B					
39	*						
40	TABLE	SCALE					
41		TEXT	PENALTY				
42	SUL		EMPTY				
43	*						
44	TABLE	BUY					
45		TEXT	MIN1	MAX1	COST		
46	FTC	ТКГ 1А/1М	0,0000	1000,0000	1,0000		
47	FTA	Г-43-107	0,0000	1000,0000	1,0000		
48	VGR	Сырье ГО на ТК-2	0,0000	1000,0000	1,0000		
49	*						
50	TABLE	BLENDS					
51		TEXT	SPEC				
52	KKA	Анизотропный кокс (0,6% серы)	1,0000				
53	KKB	Анизотропный кокс (1,0% серы)	1,0000				
54	*						
55	*						

Table of Contents | Depot Design | New Depot Design | CASE | CASE2025 | CASE2027 | CASE DS | CASE COKE | CASE COKE+DS

Рис. 2 – Ввод исходных данных

Обсуждение

Основные мероприятия, предполагаемые проектом по выработке анизотропного кокса:

1. Отмена подачи ТНО на УЗК;
2. Строительство нового трубопровода для совместной транспортировки гидроочищенного вакуумного газойля (ГО ВГО) и остатка гидрокрекинга (ГК) для вовлечения в качестве сырья на установку термического крекинга;
3. Вовлечение ТКГ каталитических крекингов на УЗК в качестве сырья (предполагается строительство новых трансферных трубопроводов);
4. Вовлечение остатка термического крекинга (ТК) (в режиме работы на ГО ВГО и остатке ГК) в сырье УЗК.

В процессе расчета PIMS обрабатывает порядка 250 таблиц, представляющих модель завода, подбирает оптимальное сырье для производства игольчатого кокса, распределяет потоки между установками, находя наилучшее решение в предлагаемых условиях [9, С. 85]. Целевой функцией расчета является экономический эффект в виде денежного эквивалента [10, С. 350]. По результатам расчета Aspen PIMS выдает отчет по «сырьевым» движениям на НПЗ, товарной корзине, полученные данные выгружаются в формат Excel и далее анализируется службами производственного планирования и бизнес-планирования (см. таблицу 2)

Таблица 2 – Результаты расчетов

Товарная корзина	Выработка анизотропного кокса с содержанием серы до 0,6% масс. (проект-базовый вариант), тыс.т.
Ожидаемый экономический эффект, млн. руб.	+8 449,526
АИ-92	+1,7
Алкилат	-2,2
Бензин газовый стабильный	+6,1
Дизельное топливо	-41,0
Вакуумный газойль	-512,0
Мазут	+525,5
Добавка коксующая	-192,4
Ароматика	+1,7
Сжиженные углеводородные газы	-4,8
Добавка спекающая	-
Анизотропный кокс с S до 0,6 % масс.	+161,8

Расходная часть проекта включает в себя:

1. Снижение мощностей по переработке ТНО приводит к значительному увеличению выработки мазута;

2. Увеличение выработки мазута приводит к снижению выработки светлых нефтепродуктов как из-за снижения переработки ТНО, так и из-за возросшей потребности в разбавителях для мазута с целью достижения качественных характеристик;

3. Снижение загрузок каталитических крекингов и гидрокрекинга из-за вовлечения их сырья на производство анизотропного кокса и сокращения выработки газойлей на установках термического крекинга и замедленного коксования.

Доходную часть проекта составляет:

1. Выработка высокомаржинального продукта – анизотропного кокса.

Заключение

По результатам расчета наблюдается максимальная загрузка установки термического крекинга в режиме переработки ГО ВГ и рециркулята ГК и УЗК в режиме анизотропного кокса.

При этом на ТК происходит вовлечение только ГО ВГО, остаток ГК не вовлекается во все периоды. Это связано с тем, что ГО ВГО имеет более высокую плотность, среднюю температуру кипения и содержание серы, чем рециркулят ГК, поэтому дает более высокий выход остатка ТК с более высокой коксуемостью, что объясняется большей выработкой анизотропного кокса на УЗК. При этом рециркулят ГК дает более высокие выхода светлых нефтепродуктов на установке каталитического крекинга в связи с чем и направляется на данную установку.

Таким образом, выработка анизотропного кокса на действующей установке замедленного коксования принесет НПЗ дополнительную маржу в условиях сохранения выработки светлой товарной продукции.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Доля выплавки электростали в мире растет из года в год [Электронный ресурс]. – URL: https://www.metalinfo.ru/ru/news/107231 (дата обращения: 27.03.2021).

2. Российский рынок нефтяного кокса в 2019 году [Электронный ресурс]. – URL: https://www.refinitiv.ru/blog/market-insights/rossijskij-rynok-neftjanogo-koksa-v-2019/ (дата обращения: 27.03.2021).

3. ГОСТ Р 56973-2016 Графитированные электроды для электродуговых печей. Эксплуатация [Электронный ресурс]. – URL: http://docs.cntd.ru/document/1200136424 (дата обращения: 27.03.2021).

4. Прошкин, С.Е. Нефтяной кокс для алюминиевой промышленности. Технология и свойства / В.П. Твердохлебов, С.А. Храменко, Ф.А. Бурюкин и др. // «Сибирский федеральный университет». – 2010.– № 3 – С. 369–386.

5. Список НПЗ России [Электронный ресурс]. – URL: https://pronpz.ru/neftepererabatyvayushchie-zavody/rossiya.html (дата обращения: 27.03.2021).

6. Хайрудинов И.Р. Перспектива расширения сырьевой базы для получения игольчатого кокса / И.Р. Хайрудинов, А. А. Тихонов, М. М. Ахметов // Башкирский химический журнал. – 2011. – Т.18. – №3. – С. 103–111.

7. Официальный сайт Aspen Technology [Электронный ресурс]. – URL: https://clck.ru/UjQt9 (дата обращения: 25.03.2021).

8. Валявин, Г.Г. Перспективы развития процесса замедленного коксования в РФ и нетрадиционное направление использования нефтяного кокса / Г. Г. Валявин и др. // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2011. – № 6. – С. 22–24.

9. Рындин Д.А. Исследование процесса приобретения и подбора катализаторов для установки «Гидрокрекинг» с помощью программы оптимизационного планирования Aspen Pims / Д.А. Рындин, О.Ю. Белоусова, Р.Ш. Япаев // Башкирский химический журнал. – 2016. – Т.23. – №1. – С. 83–87.

10. Шпак О.С. Математическое моделирование технологического процесса в среде Unisim Design и Aspem PIMS / О.С. Шпак, А.Р. Фаизов, С.К. Чуракова и др. // Материалы Третьей Всероссийской конференции «Интенсификация тепло-массообменных процессов». – Казань: КНИТУ, 2012. – С 248-352.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dolja vyplavki ehlektrostali v mire rastet iz goda v god [The Share of Electric Steel Smelting in the World Is Growing From Year to Year] [Electronic resource]. - URL: https://www.metalinfo.ru/ru/news/107231 (accessed: 27.03.2021) [in Russian]

2. Rossijjskijj rynok neftjanogo koksa v 2019 godu [The Russian Market of Petroleum Coke in 2019] [Electronic resource]. - URL: https://www.refinitiv.ru/blog/market-insights/rossijskij-rynok-neftjanogo-koksa-v-2019/ (accessed: 27.03.2021) [in Russian]

3. GOST R 56973-2016 Grafitirovannye ehlektrody dlja ehlektrodugovykh pechejj. Ehkspluatacija [Graphite Electrodes for Electric Arc Furnaces. Operation] [Electronic resource]. - URL: http://docs.cntd.ru/document/1200136424 (accessed: 27.03.2021) [in Russian]

4. Proshkin, S. E. Neftjanojj koks dlja aljuminievojj promyshlennosti. Tekhnologija i svojjstva [Petroleum Coke for the Aluminum Industry. Technology and Properties] / V. P. Tverdokhlebov, S. A. Khramenko, F. A. Buryukin et al. // «Sibirskijj federal'nyjj universitet» [Siberian Federal University]. - 2010. - No. 3, pp. 369-386 [in Russian]

5. Spisok NPZ Rossii [A List of Russian Oil Refineries] [Electronic resource]. - URL: https://pronpz.ru/neftepererabatyvayushchie-zavody/rossiya.html (accessed: 27.03.2021) [in Russian]

6. Khairudinov I. R. Perspektiva rasshirenija syr'evojj bazy dlja poluchenija igol'chatogo koksa [The Prospect of Expanding the Raw Material Base for Obtaining Needle Coke] / I. R. Khairudinov, A. A. Tikhonov, M. M. Akhmetov // Bashkirskijj khimicheskijj zhurnal [Bashkir Chemical Journal]. - 2011. - Vol. 18. - No. 3, pp. 103-111 [in Russian]

7. Aspen Technology. Official website [Electronic resource]. - URL: https://www.aspentech.com/en/products/msc/aspen-pims (accessed: 25.03.2021)

8. Valyavin, G. G. Perspektivy razvitija processa zamedlennogo koksovanija v RF i netradicionnoe napravlenie ispol'zovanija neftjanogo koksa [Prospects for the Development of the Process of Delayed Coking in the Russian Federation and the Non-Traditional Direction of Using Petroleum Coke] / G. G. Valyavin [et al.] // Mir nefteproduktov. Vestnik neftjanykh kompanijj [The World of Petroleum Products. Bulletin of Oil Companies]. - 2011. - No. 6, pp. 22-24 [in Russian]

9. Ryndin D. A. Issledovanie processa priobretenija i podbora katalizatorov dlja ustanovki «Gidrokreking» s pomoshh'ju programmy optimizacionnogo planirovanija Aspen Pims [Investigation of the Process of Acquisition and Selection of Catalysts for the Hydrocracking Plant Using the Aspen Pims Optimization Planning Program] / D. A. Ryndin, O. Yu. Belousova, R. Sh. Yapaev // Bashkirskijj khimicheskijj zhurnal [Bashkir Chemical Journal]. - 2016. - Vol. 23. - No. 1, pp. 83-87 [in Russian]

10. Shpak O. S. Matematicheskoe modelirovanie tekhnologicheskogo processa v srede Unisim Design i Aspem PIMS [Mathematical Modeling of the Technological Process in the Unisim Design and Aspem Pims Environment] / O. S. Shpak, A. R. Faizov, S. K. Churakova et al. // Materialy Tret'ejj Vserossijjskojj konferencii «Intensifikacija teplo-massoobmennykh processov» [Proceedings of the Third All-Russian Conference "Intensification of heat and mass transfer processes"]. - Kazan: Kazan State Technological University, 2012, pp. 248-352 [in Russian]

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.033

СИНТЕЗ АДИПИНАТОВ КРАХМАЛА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Научная статья

Протопопов А.В.[1, *], Шумилова Е.Ю.[2]
[1] ORCID: 0000-0003-2752-6726;
[1, 2] Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

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

Аннотация

В статье рассмотрены закономерности получения сложных эфиров крахмала с адипиновой кислотой и изучены реологические свойства полученных адипинатов крахмала. В ходе работы изучена кинетика ацилирования крахмала адипиновой кислотой в присутствии тионилхлорида и рассмотрены кинетические закономерности процесса ацилирования крахмала, протекающие в топохимическом процессе, с применением уравнения Ерофеева-Колмогорова. На основании полученных значений констант скорости определены энергетические параметры с применением уравнения Эйринга и Аррениуса. Приведены параметры переходного комплекса, образующегося при ацилировании крахмала адипиновой кислотой. Образование сложных эфиров крахмала подтверждено методом ИК-спектроскопии.

Ключевые слова: ацилирование, крахмал, адипинаты крахмала, сложные эфиры крахмала.

SYNTHESIS OF STARCH ADIPATES AND INVESTIGATION OF THEIR RHEOLOGICAL PROPERTIES

Research article

Protopopov A.V.[1, *], Shumilova E.Yu.[2]
[1] ORCID: 0000-0003-2752-6726;
[1, 2] Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

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

Abstract

The current article examines the regularities of obtaining starch esters with adipic acid and studies the rheological properties of the obtained starch adipates. In the course of the research, the author examines the kinetics of starch acylation with adipic acid in the presence of thionyl chloride and the kinetic regularities of the starch acylation process occurring in the topochemical process using the Erofeev-Kolmogorov equation. The energy parameters are determined using the Eyring and Arrhenius equations based on the obtained values of the velocity constants. The study also provides the parameters of the transition complex formed during the acylation of starch with adipic acid. The formation of starch esters was confirmed via IR spectroscopy.

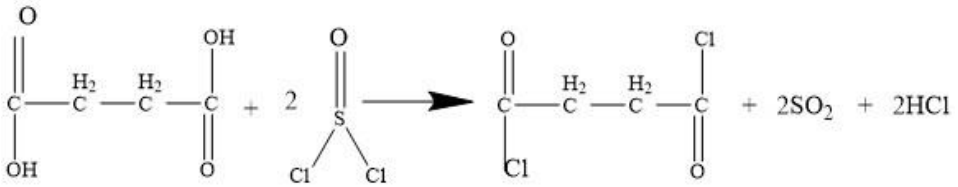
Keywords: acylation, starch, starch adipates, starch esters.

Как перерабатываемый природный материал, крахмал является важным сырьем в пищевой и других областях. Этерификацией можно улучшить характеристики исходного крахмала и расширить область его применения [1]. Природный крахмал является кристаллическим и гидрофильным соединением по своей природе и мало растворим в воде, а также не обладает эмульгирующими свойствами. Для достижения желаемых эмульгирующих свойств гидроксильные группы природного крахмала ацилируют различными кислотами, чтобы создать сложный эфир, используемый в качестве стабилизатора эмульсии [2]. Однако процесс получения сложных эфиров крахмала требует нескольких стадий для того, чтобы сделать нативный крахмал соответствующим сложным эфиром с заданными эмульгирующими свойствами. Эта технология является более эффективным с точки зрения затрат и времени процессом [3]. Процесс ацилирования упрощает потребность в производственном оборудовании, а полученный сложный эфир крахмала значительно легче приготовить, чем существующие модифицированные сложные эфиры крахмала. Кроме того, для непищевого применения могут производиться крахмалы с высокой степенью замещения или другие типы сложных эфиров. Полученный сложный эфир крахмала можно использовать в качестве стабилизатора эмульсии и инкапсулирующего агента [4].

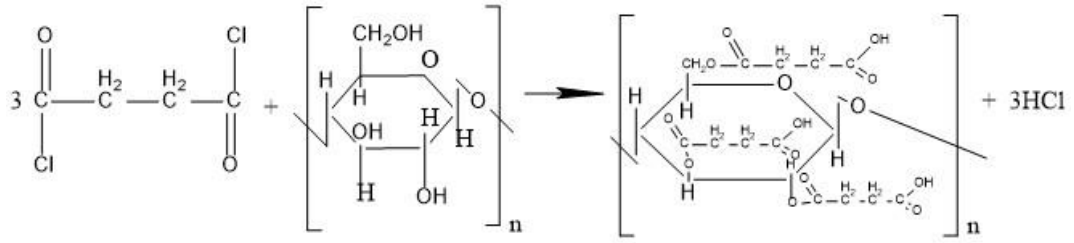
Ацилирование картофельного крахмала увеличивает отрасли его применения. Модификация крахмала способствует внедрению новых функциональных групп, а также позволяет варьировать степень замещения получаемых сложных эфиров крахмала. Крахмал является одним из главных компонентов для производства разнообразных продуктов с улучшенными потребительскими свойствами [5]. Актуальность работы заключается в усовершенствовании свойств сложных эфиров крахмала для их использования в различных отраслях. Использование модифицированного крахмала снижает себестоимость продукта, следовательно, данный фактор показывает перспективы разработки данной тематики. Методика ацилирования крахмала основана на ранее апробированной методике получения сложных эфиров целлюлозы и лигнина [6], [7].

Синтез проводили в мольном соотношении янтарная кислота: крахмал как 3:1. Синтез состоит из двух стадий:

1. Получение ацилирующего агента - хлорангидрида янтарной кислоты:



2. Ацилирование крахмала полученным хлорангидридом янтарной кислоты:



Синтез проводили с варьированием температуры от 35 ^{0}C до 65 ^{0}C с шагом в десять градусов и продолжительностью от одного до пяти часов. Термостатирование проводилось на водяной бане с автоматическим термостатом. Полученный продукт промывался спиртом на фильтрах Шотта и высушивался до воздушно-сухого состояния.

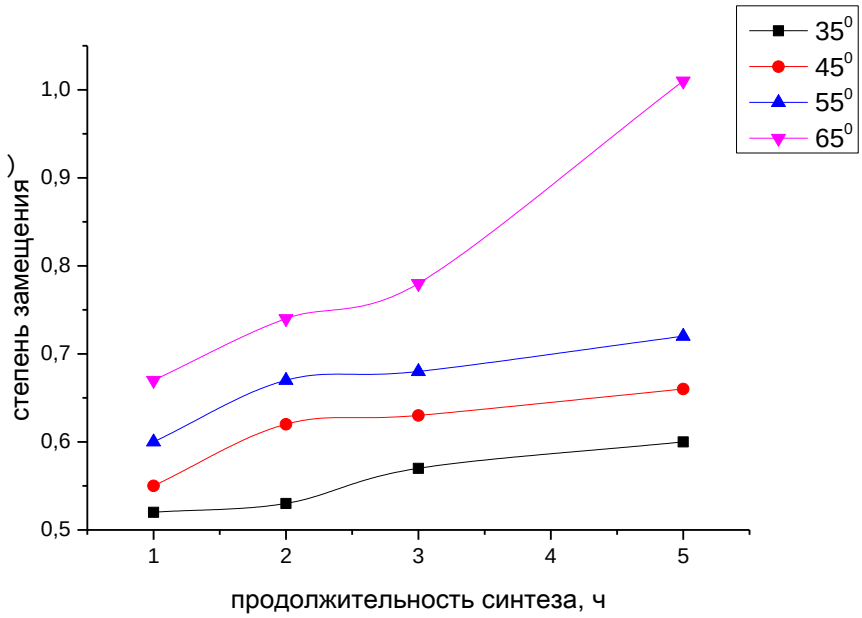


Рис. 1 – Степень замещения в сложных эфирах крахмала при различных температурах

Повышение температуры и времени синтеза приводит к возрастанию степени замещения в полученных продуктах. В этих условиях возможно получение однозамещенного эфира крахмала.

Исследование методом ИК-спектроскопии полученных продуктов показало образование сложноэфирной связи, в спектрах продуктов появляются полосы поглощения в области 1740 и 1220 см$^{-1}$ (Рисунок 2).

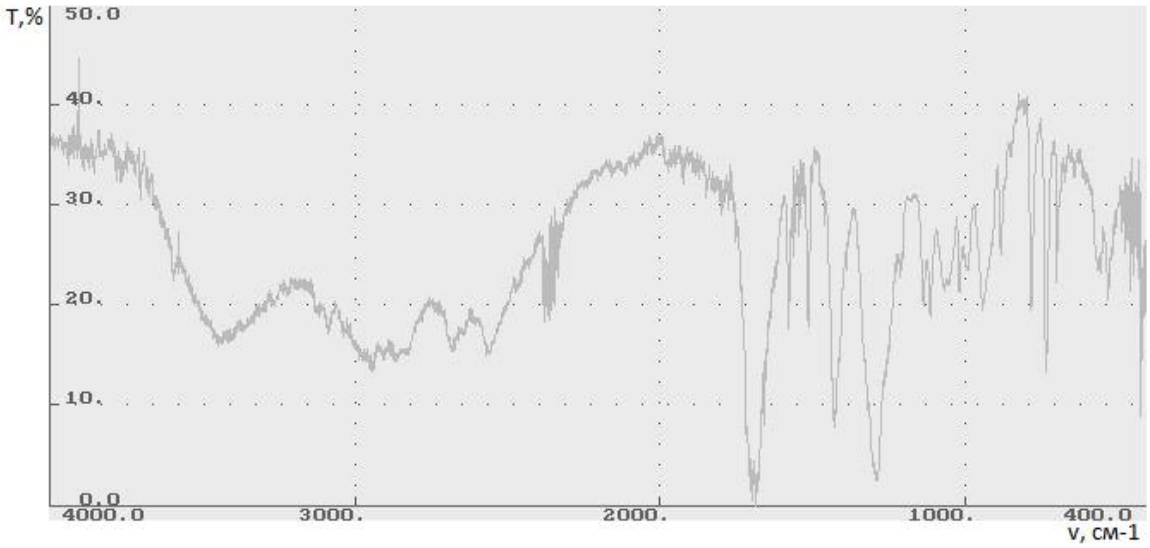


Рис. 2 – ИК-спектр полученных сложных эфиров крахмала

Ацилирование является одним из эффективных способов денатурации, и крахмал можно модифицировать физическими, химическими или ферментативными методами, которые эффективно применяются в пищевой, текстильной, бумажной, нефтехимической и фармацевтической промышленности в зависимости от его различных свойств.

Как и в предыдущих условиях, проведен синтез сложных эфиров крахмала с янтарной кислотой, но в данном случае использовался катализатор - в присутствии хлорида. Полученные продукты анализировали на содержание связанной кислоты в полученном сложном эфире крахмала.

При использовании системы «хлорид алюминия – серная кислота» наблюдается более высокое содержание связанной кислоты в продуктах модификации крахмала (таблица 1). Данный факт можно объяснить созданием более интенсивной ионной среды, способствующей реакции ацилирования крахмала. При увеличении содержания серной кислоты наблюдается снижение содержания связанной кислоты. В данном случае возможно протекание сульфатирования крахмала, а также его деструкции, что замедляет и мешает реакции ацилирования. С увеличением температуры синтеза наблюдается снижение содержания связанной кислоты в полученных продуктах.

Таблица 1 – Содержание связанной кислоты в продуктах модифицированного крахмала

Температура, ^{0}C	Соотношение $AlCl_3$: H_2SO_4, %			
	1:0	1:1	1:5	2:5
45^0	49	73	49	71
55^0	-	-	40	61

Исследование методом ИК-спектроскопии полученных продуктов, показало образование сложноэфирной связи в полученных продуктах (Рисунок 3).

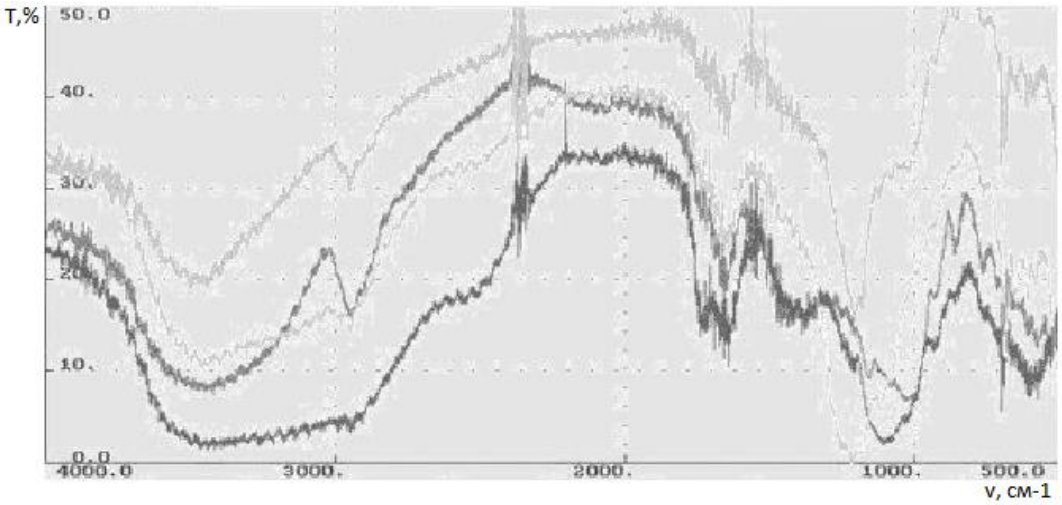


Рис. 3 – ИК-спектр полученных сложных эфиров крахмала

Также, было изучено влияние сульфата алюминия и сравнение с хлоридом алюминия при получении сложных эфиров крахмала с янтарной кислотой. Полученные продукты анализировали на содержание связанной кислоты в полученном сложном эфире крахмала (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание связанной кислоты в продуктах модифицированного крахмала

Используемый катализатор	Соотношение Al : H_2SO_4, %	
	1:0	1:1
$AlCl_3$	49	73
$Al_2(SO_4)_3$	77	80

Как показывают полученные данные, использование сульфата алюминия в качестве катализатора позволяет повысить содержание связанной кислоты практически в два раза по сравнению с использованием хлорида алюминия. При использовании системы «хлорид алюминия – серная кислота» наблюдается более высокое содержание связанной кислоты в продуктах модификации крахмала. Данный факт можно объяснить созданием более интенсивной ионной среды, способствующей реакции ацилирования крахмала. При использовании сульфата алюминия, добавление серной кислоты практически не влияет на протекание реакции. В данном случае использование системы без серной кислоты позволяет уменьшить протекание процессов деструкции крахмала, что сказывается на качестве полученных продуктов.

Полученные данные показывают возможность применения хлорида алюминия в качестве катализатора при ацилировании крахмала в среде четыреххлористого углерода.

В дальнейшем были проведены опыты по синтезу сложных эфиров крахмала с янтарной кислотой в присутствии тионилхлорида и сульфата алюминия. Синтез проводили в мольном соотношении янтарная кислота:крахмал как 3:1. Полученные продукты исследовались на содержание связанной кислоты методом потенциометрии и рассчитывали степень замещения в полученных продуктах (Рисунок 4).

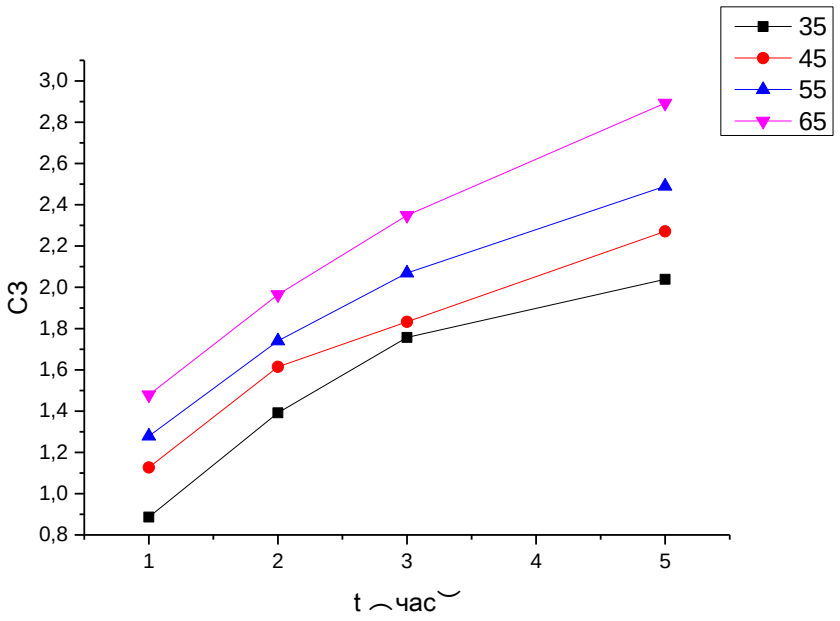


Рис. 4 – Степень замещения в сложных эфирах крахмала

С увеличением продолжительности и температуры синтеза наблюдается возрастание степени замещения в полученных продуктах. При этом достигнутая степень замещения составляет практически от 1 до трехзамещенного сложного эфира.

Обработку кинетических данных реакции ацилирования крахмала проводили по уравнению Ерофеева-Колмогорова в соответствии с кинетикой гетерогенных процессов.

$$\ln[-\ln(1-\alpha)] = \ln k + n\cdot\ln\tau.$$

По кинетическим зависимостям, определены значения коэффициентов k и пересчитаны в константы скорости реакции ацилирования по уравнению Саковича (таблица 3):

$$K=n\cdot k^{1/n}$$

Таблица 3 – Константы скорости реакции ацилирования крахмала янтарной кислотой, $c^{-1}\times10^5$

Проведение синтеза	Температура синтеза, ^{0}C			
	35^0	45^0	55^0	65^0
Без катализатора	1,62	2,32	3,28	4,59
С применением катализатора	5,29	6,04	8,76	16,80

Термодинамические параметры реакции ацилирования вычисляли на основании уравнения Эйринга.

$$\ln\frac{K\hbar}{Tk_b} = \frac{\Delta S^{\neq}}{R} - \frac{\Delta H^{\neq}}{R}\frac{1}{T},$$

А также рассчитывали энергию активации процесса ацилирования в соответствии с уравнением Аррениуса (таблица 4).

Таблица 4 – Энергетические параметры реакции ацилирования

Условия проведения синтеза	Энтальпия активации, кДж/моль	Энтропия активации, Дж/(моль·К)	Энергия активации, кДж/моль
Без катализатора	31,58	-235,3	34,21
С применением катализатора	30,25	-230,0	32,93

При рассмотрении температурной зависимости найдено значение энтальпии активации реакции ацилирования крахмала и значение энтропии активации, рассчитано значение энергии активации реакции ацилирования целлюлозы. Энтальпия активации свидетельствует о быстром энергетическом достижении активированного комплекса. Однако отрицательное значение энтропии активации говорит о значительной энергетической устойчивости активированного комплекса, что в конечном итоге затрудняет образование сложного эфира целлюлозы. Значения энергии активации, рассчитанные с применением уравнения Аррениуса, сопоставимы с значением энтальпии активации, которая отвечает за энергию активации в уравнении Эйринга. Незначительное снижение энергии активации при применении сульфата алюминия в процессе ацилирования крахмала говорит о том, что он в большей степени увеличивает ионную силу

ацилирующей смеси и, тем самым, способствует взаимодействию хлорангидрида янтарной кислоты с гидроксилами крахмала.

Для полученных сложных эфиров крахмала нами было изучено влияние pH среды на вязкость растворов и структурообразование. Вязкость растворов измерялась на вискозиметре Убеллоде (Рисунок 5).

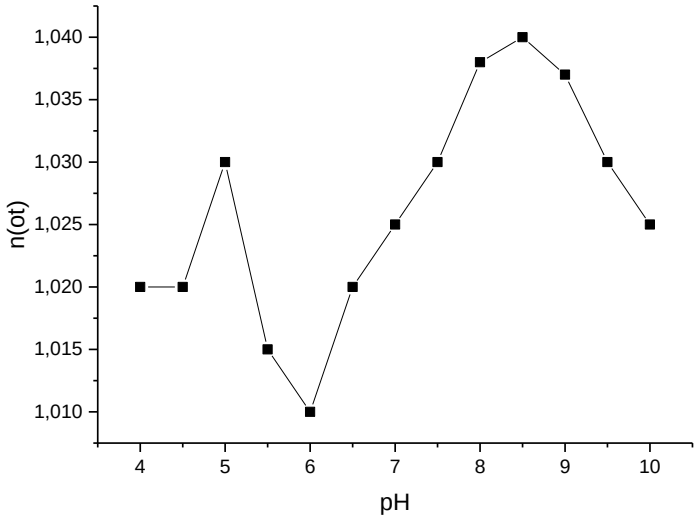


Рис. 5 – Зависимость вязкости раствора от pH среды

Вязкость раствора изменяется нелинейно с ростом pH среды, при этом наблюдается минимум вязкости при нейтральном pH. При подкислении раствора вязкость незначительно при сравнении с переходом в щелочную область возрастает и в более кислой среде происходит некоторое ее снижение. В щелочной среде происходит резкий скачок вязкости.

Зависимость оптической плотности раствора сложного эфира крахмала от pH среды показывает экстремальный характер с максимумом при pH 6-7 (Рисунок 6).

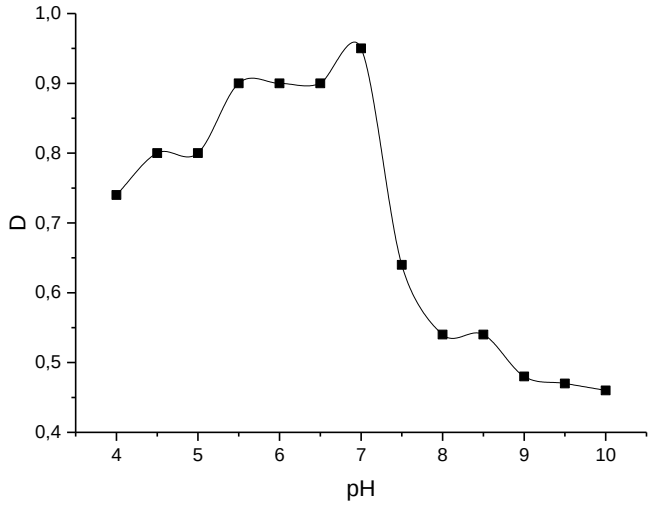


Рис. 6 – Зависимость оптической плотности раствора сложного эфира крахмала от pH среды

Из полученных данных можно предположить образование изоэлектрической точки сукцината крахмала при нейтральном pH среды.

Для полученных сложных эфиров крахмала нами было изучена солюбилизирующая способность растворов крахмала по отношению к растительному маслу. В пищевой промышленности сложные эфиры крахмала используются в качестве эмульгаторов и загустителей, в частности для получения загущенных сред из растительного масла в производстве кондитерских изделий. Солюбилизирующая способность сложных эфиров крахмала исследовалась турбодиметрическим методом путем получения растворов с различным содержанием растительного масла в растворе сложного эфира крахмала с заданной концентрацией (Рисунок 7).

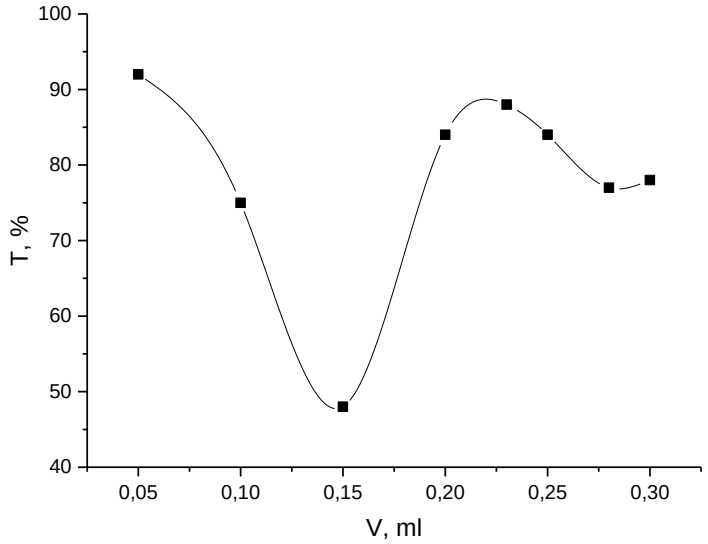


Рис. 7 – Зависимость светопропускания от содержания растительного масла в растворе сложного эфира крахмала

Полученные значения показывают хорошую растворимость растительного масла в растворе сложного эфира крахмала.

Полученные сложные эфиры крахмала могут быть в дальнейшем модифицированы для получения биопластика.

Предложенный метод позволяет получать самые различные сложные эфиры крахмала с карбоновыми кислотами, тем самым широко варьируя эмульгирующие свойства получаемых модифицированных крахмалов и область их применения.

Финансирование

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (мнемокод 0611-2020-013; номер темы FZMM-2020-0013, ГЗ № 075-00316-20-01).

Funding

The work was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (mnemocode 0611-2020-013; topic number FZMM-2020-0013, GZ No. 075-00316-20-01).

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Kairui Zhang Synthesis of long-chain fatty acid starch esters in aqueous medium and its characterization / Kairui Zhang, FeiCheng, KangZhang et al. //European Polymer Journal, Volume 119, October 2019, Pages 136-147.

2. Pietrzyk S. Influence of catalysts on effectiveness of starch oxidation process and its physico-chemical properties / S. Pietrzyk, T. Fortuna, M. Sowa // Food. Science. Technology. Quality, vol. 2, no. 47, pp. 69–81, 2006.

3. Zhang S. D. Modified corn starches with improved comprehensive properties for preparing thermoplastics / S. D. Zhang, Y. R. Zhang, J. Zhu et al. // Starch-Stärke, vol. 59, no. 6, pp. 258–268, 2007.

4. Tomasik P. Modified starch and its use / P. Tomasik // Food Industry, vol. 54, no. 4, pp. 16–18, 2000.

5. Zhang S.-D. High carbonyl content oxidized starch prepared by hydrogen peroxide and its thermoplastic application / S.-D. Zhang, Y.-R. Zhang, X.-L. Wang et al. // Starch, vol. 61, no. 11, pp. 646–655, 2009.

6. Protopopov A.V. Chemical modification of lignins by amino acids / A.V.Protopopov, M.V.Klevtsova, V.V.Konshin et al. // Chemistry of Natural Compounds, - Springer. – 2015 - № 51, - P. 934-936. DOI 10.1007/s10600-015-1451-0.

7. Efryushin D.D. Modification of technical lignins by carboxylic acids / D.D.Efryushin, V.V.Konshin, A.V.Protopopov et al. // Chemistry of Natural Compounds, - Springer. – 2015 - № 51, - P. 1007-1008. DOI 10.1007/s10600-015-1451-0.

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.034

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТИТАНАТА КАЛИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО СЛОИСТЫМИ ДВОЙНЫМИ ГИДРОКСИДАМИ

Научная статья

Цыганов А.Р.[1, *], Гороховский А.В.[2]
[1] ORCID: 0000-0002-5112-7939;
[2] ORCID: 0000-0002-4210-3169;
[1, 2] Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия

* Корреспондирующий автор (tsyganov.a.93[at]mail.ru)

Аннотация

Синтезированы различные варианты нового вида функциональных нанокомпозитных материалов в системе полититанат калия (ПТК) - слоистый двойной гидроксид (СДГ). Синтез осуществлялся в водных дисперсиях путем осаждения наночастиц СДГ состава Zn/Al-CO_3 и Cu/Zn/Al-CO_3 на поверхность чешуйчатых субмикроразмерных частиц аморфного полититаната калия. Полученные продукты охарактеризованы методами электронной сканирующей и просвечивающей микроскопии, рентгеновского фазового анализа и ИК- спектроскопии. Исследовано трибологическое поведение дисперсий синтезированных порошков в базовом масле И-20а. Рассматривается влияние химического состава нанокомпозитов на их трибохимическое поведение. Анализируются потенциальные возможности их применения в качестве антифрикционных, противоизносных и противозадирных добавок к смазочным композициям.

Ключевые слова: полититанат калия, слоистые двойные гидроксиды, синтез, нанокомпозиты, трибологические свойства.

THE EFFECT OF CHEMICAL COMPOSITION ON TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF NANOCOMPOSITE MATERIALS BASED ON POTASSIUM POLYTITANATE MODIFIED WITH LAYERED DOUBLE HYDROXIDES

Research article

Tsyganov A.R.[1, *], Gorokhovsky A.V.[2]
[1] ORCID: 0000-0002-5112-7939;
[2] ORCID: 0000-0002-4210-3169;
[1, 2] Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

* Corresponding author (tsyganov.a.93[at]mail.ru)

Abstract

The current study synthesizes various variants of a new type of functional nanocomposite materials in the system of potassium polytitanate (PPT) - layered double hydroxide (LDH). The synthesis was carried out in aqueous dispersions by precipitation of LDH nanoparticles of the Zn/Al-CO_3 and Cu/Zn/Al-CO_3 compositions on the surface of flaky submicrometer particles of amorphous potassium polytitanate. The resulting products were characterized by electron scanning and transmission microscopy, X-ray phase analysis, and IR spectroscopy. The article examines the tribological behavior of the dispersions of synthesized powders in the base oil I-20A as well as the influence of the chemical composition of nanocomposites on their tribochemical behavior. The potential possibilities of their application as antifriction, anti-wear and extreme pressure additives to lubricating compositions are also analyzed.

Keywords: potassium polytitanate, layered double hydroxides, synthesis, nanocomposites, tribological properties.

Введение

В современной промышленности свойства смазочных материалов в значительной степени определяют энергопотребление, связанное с трением и износом деталей машин и механизмов. Улучшение свойств смазочных композиций достигается введением в их состав твердых частиц антифрикционных и противоизносных добавок различного типа [1]. Однако, требования к современным смазочным материалам повышаются и традиционные добавки такого типа (графит, дисульфид молибдена) не обеспечивают достижение всех востребованных характеристик. В связи с этим большое внимание в последние годы уделяется разработке новых видов добавок, обеспечивающих эксплуатацию смазочных материалов в экстремальных условиях (высокие скорости, повышенные нагрузки), а также – одновременное улучшение обширного комплекса различных трибологических характеристик (износостойкость, противозадирные и антифрикционные свойства) [2].

Эффективным материалом для улучшения свойств смазочных композиций является полититанат калия (ПТК) с общей химической формулой $K_2O{\cdot}nTiO_2{\cdot}mH_2O$ (n = 3–11, m = 1–3). Полититанат калия имеет сильно искаженную слоистую структуру, которая образованна плоскими слоями двойных титан-кислородных октаэдров, между которыми располагаются ионы калия, гидрония и молекулы воды. Межслойное расстояние в частицах варьируется в диапазоне 0,1–1,2 нм, а квазиаморфная природа структуры сохраняется до 600–700ºС. Превосходное трибологическое поведение частиц ПТК определяется главным образом слоистой структурой и низким коэффициентом трения. В процессе трения чешуйчатые частицы ПТК легко отрываются друг относительно друга и адсорбируются на трущихся поверхностях, предотвращая тем самым контакт поверхностей металла и снижая коэффициент трения. Частицы ПТК легко модифицируются различными соединениями органических и неорганических соединений, что позволяет регулировать их свойства.

Слоистые двойные гидроксиды (СДГ) представляют собой гидроталькито подобные анионные глинистые системы с общей формулой $[M(II)_{1-x}M(III)_x(OH)_2]^{x+}[A^{n-}_{x/n}{\cdot}yH_2O]^{x-}$, где M(II) и M(III) являются двухвалентными и трехвалентными

металлами, соответственно, а A^{n-} является n-валентным анионом. Эти соединения имеют слоистую кристаллическую структуру с широкими вариациями в зависимости от природы катионов и молярного соотношения M(II)/M(III), а также от типа анионов [3].

Введение высокодисперсных порошков СДГ в состав смазочных материалов придает им антифрикционные и противоизносные свойства. В частности, изучены трибологические свойства смазочных композиций с добавками СДГ, относящимися к системам Mg/Al, Zn/Al, Co/Al, Ni/Al. Во всех случаях частицы СДГ способствовали улучшению трибологических свойств базовых масел; однако, было показано, что, в зависимости от состава, частицы СДГ различным образом влияют на конкретные трибологические параметры [4], [5], [7].

В нашей предыдущей работе [8] было показано, что превосходное трибологическое поведение демонстрируют частицы ПТК, модифицированные слоистыми двойными гидроксидами различного химического состава (ПТК/СДГ(Zn/Cr), ПТК/СДГ (Zn, Al). С другой стороны, известно, что положительное влияние на трибологические свойства смазок оказывают медьсодержащие добавки [9], [10].

Однако, синтез медьсодержащих СДГ связан с определенными трудностями, поскольку введение меди в состав СДГ возможно только в комбинации с другими двухвалентными металлами [11], [12]. В этой связи, трибологические свойства медьсодержащих слоистых двойных гидроксидов до сих пор не были изучены.

Исходя из вышеизложенного, целью данной работы являлся синтез нанокомпозитного материала в системе ПТК/СДГ(Cu/Zn/Al) и подробное исследование его трибологического поведения в сопоставлении с поведением аналогичного нанокомпозита системы ПТК/СДГ(Zn/Al), не содержащего меди.

Методы и принципы исследования

Исходный ПТК был синтезирован в соответствии с процедурой, описанной в работе [13]. Порошкообразный TiO_2 (анатаз, Aldrich, чистота 99%, средний размер частиц 7 мкм) обрабатывали в расплаве смеси KOH и KNO_3 в электрической печи при 500°C в течение 3 часов в алундовом тигле. Сырьевая смесь содержала (масс.%) TiO_2 (30), KOH (30) и KNO_3 (40). Полученный продукт промывали дистиллированной водой (20 весовых частей H_2O на 1 весовую часть твердого продукта). Избыток водного раствора декантировали до получения 50% водной дисперсии, которую далее использовали при синтезе нанокомпозитов ПТК/СДГ.

Процедура синтеза карбонатных форм композитов ПТК/СДГ была аналогична методике, описанной в работе [8]. Приготавливали водные растворы нитратов:1) $Zn(NO_3)_2{\bullet}6H_2O$ и $Al(NO_3)_3{\bullet}9H_2O$ при мольном соотношении Zn^{2+}/Al^{3+}=2:1 и $[Zn^{2+}]+[Al^{3+}]$ = 1 M, и 2) $Cu(NO_3)_2{\bullet}6H_2O$, $Zn(NO_3)_2{\bullet}6H_2O$ и $Al(NO_3)_3{\bullet}9H_2O$ при молярном соотношении $Cu^{2+}/Zn^{2+}/Al^{3+}$=1:1:1 (позволявшем получить целевой СДГ без примесей других соединений) и $[Cu^{2+}]+[Zn^{2+}]+[Al^{3+}]$ = 1 M. Полученные растворы добавляли к 50% водной дисперсии ПТК в количестве, соответствующем отношению 1 г ПТК к 1 г металлов ($[Zn^{2+}]+[Al^{3+}]$) и ($[Cu^{2+}] + [Zn^{2+}]+[Al^{3+}]$). Далее полученной водной дисперсии ПТК в смешанном растворе нитратов металлов добавляли водный щелочной раствор KOH и K_2CO_3 при $[KOH]:[K_2CO_3]$ = 6:1 ($[KOH]+[K_2CO_3]$=2M) до достижения стабильного значения pH = 10 с дополнительным перемешиванием в течение 1 часа. Полученные суспензии выдерживали в течение 5 часов при 90 ° C для окончательного созревания в автоклаве; затем полученные осадки несколько раз промывали дистиллированной водой до достижения pH=7 и сушили при 60 °C (4ч).

Фазовый состав полученных продуктов определялся с помощью дифрактометра ARLX'TRA (Cu Kα source λ = 0.15439 nm) в интервале углов 2Θ от 5 до 60 град.

ИК – спектры материалов регистрировали с использованием ИК Фурье-спектрометра ФТ-801 Симекс (Россия), оснащенного фокусирующей приставкой МКФ-Ю.

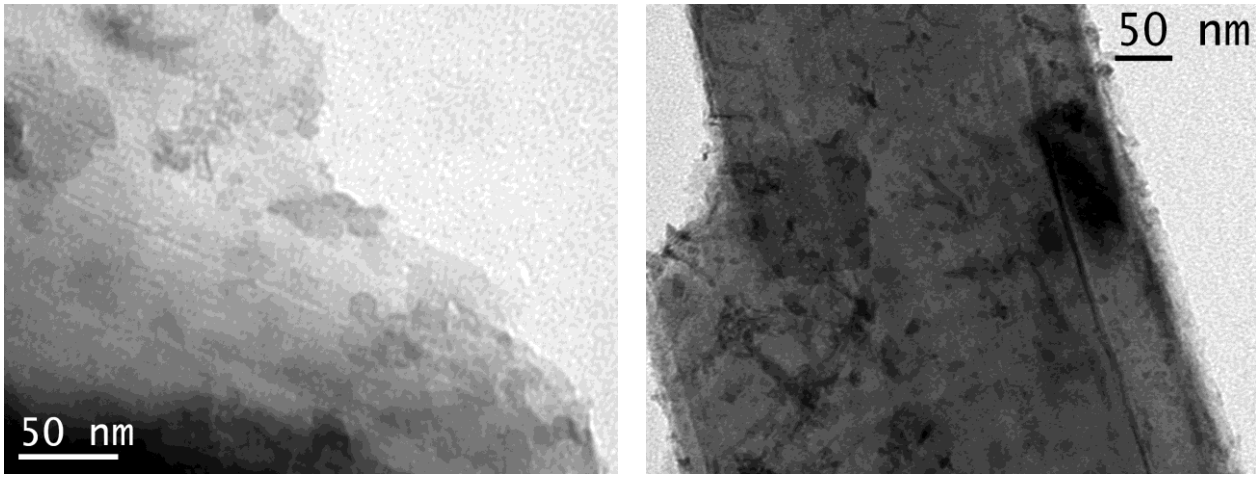
Для исследования трибологических свойств исследуемые порошки были диспергированы в базовом индустриальном масле И-20А (ГОСТ 20799-88) при помощи вибрационной мельницы Fritsch PULVERISETTE 0. Содержание порошковых наполнителей в составе смазочных композиций составляло 3масс. % (традиционно используемое содержание антифрикционных добавок в смазочных композициях), независимо от состава порошков.

Для исследования трибологических свойств была использована машина трения, состоящая из трибосопряжения типа обойма-ролик, изготовленных из подшипниковой стали GCr15. Испытания проводились при нагрузке 360 Н, скорость вращения составляла 800 об/мин. При этом, в ходе измерений, фиксировалось изменение значений коэффициента трения и температуры смазочного материала. За показатель износа принималась площадь поверхности трения (пятно износа) испытуемого ролика. Измерения проводились по три раз для каждого образца смазки. За конечные величины принимались средние значения соответствующих значений. За нагрузку сваривания принималась минимальная нагрузка, при которой трущиеся поверхности сцеплялись между собой, и машина трения прекращала работу. частиц синтезированных нанокомпозитов изучали с помощью электронного просвечивающего микроскопа Libra 120. Величину пятен износа стальных роликов, после испытаний на трение, определяли на сканирующем электронном микроскопе Explorer Aspex FEI.

Основные результаты и их обсуждение

Электронные фотографии и рентгеновские диффрактограмы порошков ПТК, ПТК/СДГ (Zn, Al) и ПТК/СДГ(Cu,Zn,Al) представлены на рисунках 1 и 2.

Частицы полученных нанокомпозитов сформированы слоистыми субмикроразмерными частицами ПТК, которые декорированы наноразмерными частицами слоистых двойных гидроксидов (рисунок 1).



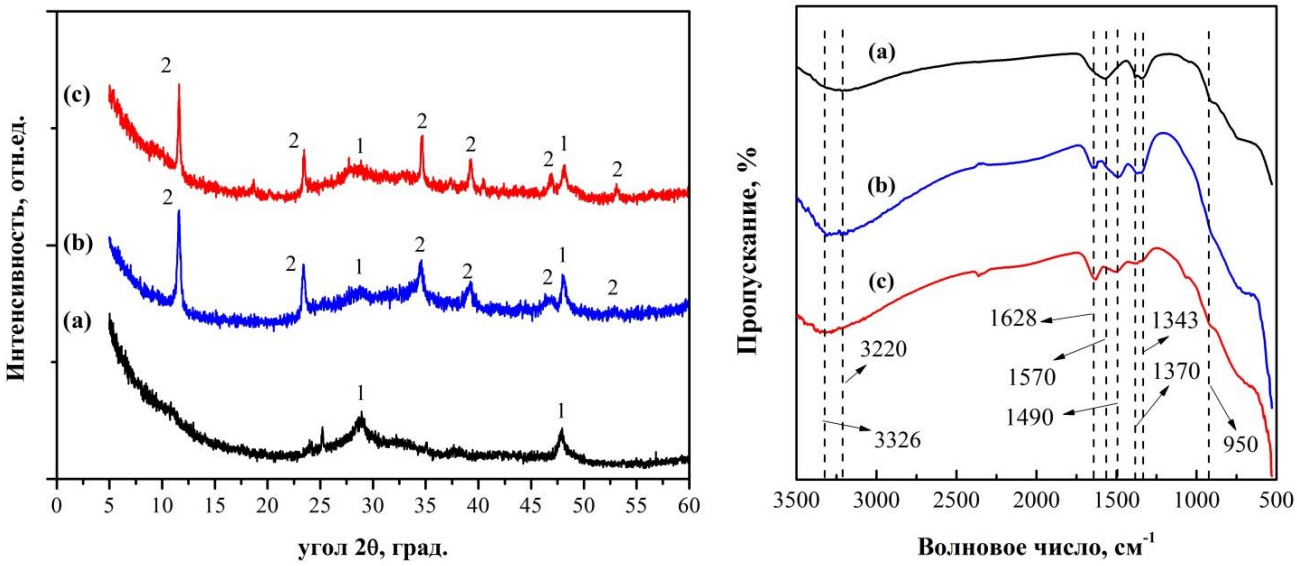
a *b*

Рис. 1 – Электронные фотографии частиц карбонатных форм нанокомпозитов ПТК/СДГ (Zn, Al) (*a*) и ПТК/СДГ(Cu,Zn,Al) (*b*)

При этом, базовый ПТК имеет квазаморфную структуру, характеризующуюся широкими рефлексами низкой интенсивности при углах 2Ѳ равными 29°и 48°, характерными для базового порошка ПТК. Диффрактограммы порошков ПТК/СДГ характеризуются рефлексами, соответствующими базовому ПТК, а также слабыми рефлексами, характеризующими присутствие фаз СДГ (JCPDS-ICDD 37-630) имеющих типичную слоистую структуру гексагональной симметрии [14].

ИК- спектры порошков ПТК и карбонатных форм нанокомпозитов, ПТК/СДГ (Zn, Al) и ПТК/СДГ (Cu, Zn, Al), представлены на рисунке 2.

Для спектров всех исследованных порошков характерна широкая полоса поглощения с максимумом при 3220 см$^{-1}$ которая относится к валентным колебаниям О-Н связи в молекулах воды, адсорбированной в различных формах на поверхности частиц ПТК и СДГ [15]. На спектрах базового ПТК также наблюдается полоса поглощения при 1570 см$^{-1}$ характерная для деформационных колебаний молекул воды δ(H_2O), интенсивность которой, однако, снижается в нанокомпозиах системы ПТК/СДГ. Наличие полос поглощения при 1343 см$^{-1}$, свидетельствует о присутствии в структуре исследованных материалов кристаллизационной воды, содержание которой, судя по изменению интенсивности поглощения, также снижается в нанокомпозитах ПТК/СДГ. Полосы поглощения в области длинных волн (от 950 см$^{-1}$) характеризуют валентные колебаниям различных видов связей Ме-О в синтезированных материалах [16]. Также во всех спектрах присутствуют полосы поглощения, соответствующие деформационным колебаниям H_2O (1628 см$^{-1}$) [17]и деформационным колебаниям групп δ(Ti-O(H)-Ti) (1343 см$^{-1}$) [18]. Кроме того, в спектрах систем ПТК/СДГ появляются полоса поглощения (1490 см$^{-1}$), типичная для порошков СДГ в карбонатной форме и свидетельствующая о присутствии карбонат ионов в полученных структурах [16], [19].



1 *2*

Рис. 2 – Рентгенограммы (*1*) и ИК-спектры (*2*) порошков:
a – ПТК; *b* – ПТК/СДГ (Cu, Zn, Al); c – ПТК/СДГ(Zn,Al)

На рисунке 3 показаны кинетические кривые изменения величины коэффициента трения при нагрузке 360Н в случае использовании в качестве смазочного материала базового масла И-20а, содержащего добавки ПТК и различных систем ПТК/СДГ. Отметим, что для всех образцов смазочных композиций равновесное значение коэффициента трения достигается после 15 минут испытаний. При испытаниях с использованием чистого базового масла, коэффициент трения принимает равновесное значение 0,065±0,002, с учетом систематической погрешности.

При введении в состав базового масла добавок порошков ПТК и ПТК/СДГ происходит снижение равновесного значения коэффициента трения. Следует отметить, что вид добавки, хотя и незначительно, но влияет на равновесное значение коэффициента трения, которое снижается до 0,049±0,001, 0,047±0,001 и 0,045±0,001 при использовании добавок ПТК, ПТК/СДГ (Zn, Al) и ПТК/СДГ (Cu, Zn, Al), соответственно. При этом, для состава ПТК/СДГ (Cu, Zn, Al) характерна более высокая скорость увеличения коэффициента трения на начальном участке, но после 20 минуты испытаний коэффициент трения имеет меньшее значение по сравнению с ПТК/СДГ (Zn, Al).

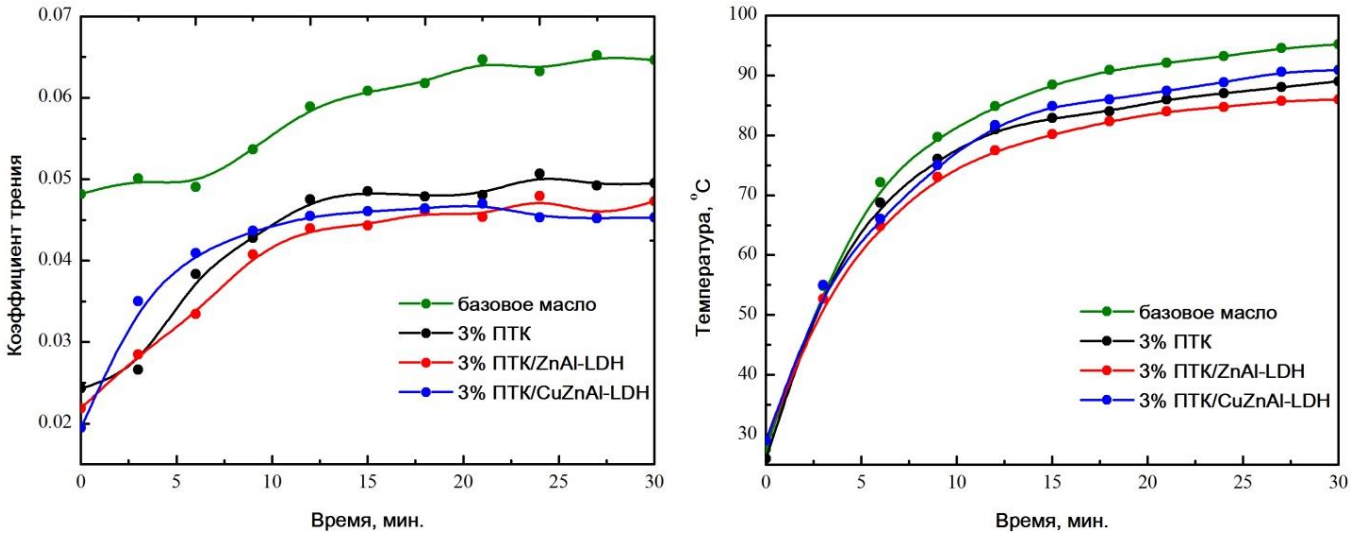


Рис. 3 – Кинетические кривые зависимости коэффициента трения и температуры смазочной композиции для смазочных композиций с различными добавками

Таблица 1 – Трибологические свойства смазочных композиций

Смазочная композиция	Трибологическое свойство	
	Площадь пятна износа, мм^2	Нагрузка сваривания, Н
Базовое масло без добавок	11.80±0,20	550±50
+3% ПТК	7.65±0,25	1050±50
+3% ПТК/СДГ(Zn,Al)	6.83±0,17	1450±50
+3% ПТК/СДГ(Cu,Zn,Al)	6.18±0,15	1600±50

Согласно данным, представленным в таблице 1, использование добавок порошков исследуемых систем приводит к значительному снижению площади пятна износа. Базовый ПТК снижает площадь износа смазочной композиции на его основе, в среднем, на 35%, а композиты ПТК/СДГ (Zn, Al) и ПТК/СДГ (Cu, Zn, Al) на 42и 47%, соответственно. Важно, отметить, что если добавка 3% ПТК увеличивает нагрузку сваривания базового масла в 1,9 раз, то, при использовании аналогичных добавок нанокомпозитных порошков ПТК/СДГ, увеличение нагрузки сваривания происходит в 2,6 раза для ПТК/СДГ (Zn, Al) и в 2,9 раза для ПТК/СДГ (Cu, Zn, Al).

На рис. 3 также представлены температурные зависимости образов смазочных композиций масел в ходе испытаний на трение. Известно, что до 95% работы сил трения расходуется на нагрев непосредственно контактирующих поверхностей трения и главным источником охлаждения пар трения является смазочный материал. Как видно на рисунке, добавки порошков ПТК, ПТК/СДГ (Zn, Al) и ПТК/СДГ (Cu, Zn, Al) приводит к способствуют снижению температуры масла на 7,3; 10,4и 5,2%, соответственно, что соответствует относительному снижению равновесного значения коэффициента трения для указанных систем.

Наблюдаемый эффект можно объяснить обильным высаживанием порошков добавок на поверхности трения и их дальнейшим трибохимическим взаимодействием с поверхностью трения, в результате которого формируются модифицированные слои поверхности, препятствующие теплоотводу благодаря их более низкой теплопроводности в сравнении с исходным металлом (сталь) [20], [21]. С другой стороны, известно [22], что частицы СДГ (Cu, Zn, Al) имеют относительно высокую теплопроводность и их присутствие не только на поверхности трущихся деталей, но и в объеме масла - может способствовать увеличению теплопроводности смазочной композиции в целом. Это приводит к более эффективному отводу тепла из зоны трения, сопровождающемуся более значительным увеличением температуры смазочной композиции с добавками ПТК/СДГ(Cu,Zn,Al) в сравнении с композициями на основе ПТК и ПТК/СДГ(Zn,Al).

Формирование модифицированного слоя на поверхности трущихся деталей в присутствии добавок частиц ПТК/СДГ, а также заполнение ими неровностей поверхности - предотвращает прямой контакт деталей трибосопряжений. Вследствие этого, повышаются не только антифрикционные, но и противоизносные и противозадирные (нагрузочные) свойства смазочных материалов. При этом, антифрикционные свойства порошков ПТК/СДГ определяются главным образом их слоистой структурой и низким значением собственного коэффициента трения. В то же время, трибохимическое взаимодействие частиц ПТК с поверхностью стали приводит к внедрению титана в поверхностный слой металла, приводящему к увеличению его микротвердости и износостойкости [8], [23]. При этом, данный эффект, в той или иной мере, наблюдается для всех исследованных систем, однако для частиц ПТК/СДГ (Cu, Zn. Al) он имеет наиболее выраженный характер. Кроме того, присутствие алюминия в составе порошков

ПТК/СДГ (Zn, Al) и ПТК/СДГ (Cu, Zn, Al), который способен формировать на поверхности стали участки, покрытые пленкой его оксида, способствует не только повышению ее микротвердости, но и препятствует свариванию под нагрузкой (увеличению нагрузки сваривания). Введение в состав СДГ ионов меди позволяет существенно улучшить противоизносные свойства добавок, что связано со свойствами формируемых на поверхности стали при трении слоев, содержащих медь. Медьсодержащие соединения являются плакирующими добавками, способные образовывать на поверхности металла слои, обладающие высокой пластичностью и имеющие низкое сопротивление сдвигу, что дополнительно препятствует свариванию при высоких нагрузках. Вследствие чего, добавки карбонатной формы нанокомпозита ПТК/СДГ (Cu,Zn,Al)-CO_3 обеспечивают более высокие противоизносные свойства и более высокую нагрузку сваривания смазочных композиций.

Заключение

Полученные экспериментальные результаты позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Синтезированные нанокомпозитные порошки систем ПТК/СДГ (Zn, Al) и ПТК/СДГ (Cu, Zn, Al) обладают более высокими трибологическими характеристиками по сравнению с базовыми порошками полититаната калия (ПТК).

2.Карбонатная форма слоистого двойного гидроксида (СДГ) полученная в системе ПТК/СДГ (Cu, Zn, Al) - CO_3 придает смазочным композициям более высокие противоизносные свойства и максимально увеличивает нагрузку сваривания трущихся поверхностей, даже с учетом того, что имеет примерно одинаковые антифрикционные свойства с карбонатной формой СДГ/ (Zn, Al) - CO_3.

3. Улучшение трибологических свойств может быть объяснено слоистой структурой синтезированных нанокомпозитных материалов и высокой трибохимической активностью, связанной с формированием при трении на поверхности стали модифицированного слоя, содержащего химические элементы, входящие в состав добавок (Ti, Zn, Al, Cu).

4. Химический состав СДГ является основным фактором, влияющим на трибологические характеристики смазочных материалов на их основе: Zn - способствует антифрикционным свойствам (снижение коэффициента трения), Cu – придает поверхности противоизносные и противозадирные свойства (снижение размера пятна износа), а Al - обеспечивает увеличение нагрузки сваривания.

5. В силу того, что порошки нанокомпозитов на основе систем ПТК/СДГ (Cu, Zn, Al) - CO_3 одновременно улучшают различные трибологические свойства смазочных композиций, они могут быть рекомендованы к использованию как комплексные антифрикционные, противоизносные и противозадирные добавки широкого спектра действия.

Финансирование

Работа поддержана Фондом поддержки инноваций (проект № 13926ГУ/2019).

Funding

This work was supported by the Innovation Support Foundation (project № 13926ГУ/2019).

Благодарности

Авторы приносят благодарность Г.Ю.Юркову за помощь в проведении исследованийметодом электронной просвечивающей микроскопии.

Acknowledgement

The authors acknowledge Dr.G.Yu.Yourkov for his support in the field of transmission electron microscopy.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Список литературы / References

1. Mortier R.M. Chemistry and Technology of Lubricants / R. M. Mortier, M. F. Fox, S.T. Orszulik. – NewYork: Springer, 2010. – 560 p.

2. Dai W. Roles of nanoparticles in oil lubrication / W. Dai, K. Bassem, G. Hong et al. // Tribology International. – 2016. – V. 102. – P. 88-98. DOI:10.1016/j.triboint.2016.05.020

4. Zümreoglu-Karan B. Layered double hydroxides—multifunctional nanomaterials / B. Zümreoglu-Karan, A. Ay. // Chemical Papers. – 2012. – V. 66(1). – P. 1-10. DOI:10.2478/s11696-011-0100-8

5. Li S. Friction properties of La-doped Mg/Al layered double hydroxide and intercalated product as lubricant additives / S. Li, H. Qin, R. Zuo et al. // Tribology International. – 2015. – V. 91. – P. 60-66. DOI:10.1016/j.triboint.2015.06.012

6. Min B. Z. Characterization and friction performances of Co–Al-layered double-metal hydroxides synthesized in the presence of dodecylsulfate / B.Z. Min, W.Z. Yu, Z.T. Guang et al. // Applied Clay Science. – 2013. – V. 75. – P. 22-27.

7. Li S. Characterization and friction performance of Zn/Mg/Al-CO_3 layered double hydroxides / S. Li, Z. Bai, and D. Zhao // Applied Surface Science. – 2013. – V. 284. – P. 7-12. DOI:10.1016/j.apsusc.2013.06.087

8. Li S. Tribological behavior and antiwear mechanism of layered double hydroxides nanoparticles as lubricant additive / S. Li, Z. Bai, and D. Zhao // Journal of The Chinese Ceramic Society. – 2014. – V. 42(10). – P. 1316-1324. DOI:10.7521/j.issn.04545648.2014.10.17

9. Gorokhovsky A.V. Synthesis and properties of nanocomposites in the system of potassium polytitanate-layered double hydroxide / A.V. Gorokhovsky, A.R. Tsiganov, T.V. Nikityuket al. // Journal of Materials Research and Technology. – 2020. – V. 9(3). – P. 3924-3934. DOI:10.1016/j.jmrt.2020.02.018

10. Battez A.H. CuO, ZrO_2 and ZnO nanoparticles as antiwear additive in oil lubricants / A. H. Battez, R. González, J.L.Viesca et al. // Wear. – 2008. – V. 265(3-4). – P. 422-428. DOI:10.1016/j.wear.2007.11.013

11. Wu Y.Y. Experimental analysis of tribological properties of lubricating oils with nanoparticle additives / Y.Y. Wu, W.C. Tsui and T.C. Liu // Wear. – 2007. – V. 262(7-8). – P. 819-825. DOI:10.1016/j.wear.2006.08.021

12. Li J.A novel three-dimensional hierarchical CuAl layered double hydroxide with excellent catalytic activity for degradation of methyl orange / J. Li, S. Zhang, Y. Chen, T. Liu et al. // RSC advances. – 2017. – V. 7(46). – P. 29051-29057. DOI:10.1039/c7ra03848h

13. Kowalik P. Memory effect of the CuZnAl-LDH derived catalyst precursor—In situ XRD studies/ P. Kowalik, M. Konkol, M. Kondrackaet al.// Applied Catalysis A: General. – 2013. – V. 464. – P. 339-347. DOI:10.1016/j.apcata.2013.05.048

14. Sanchez–Monjaras T. Molten salt synthesis and characterization of potassium polytitanate ceramic precursors with varied TiO_2/K_2O molar ratios / T. Sanchez–Monjaras, A. Gorokhovsky and J.I. Escalante–Garcia// Journal of the American Ceramic Society. – 2008. – V. 91(9). – P. 3058-3065. DOI:10.1111/j.1551-2916.2008.02574.x

15. Cavani F. Hydrotalcite-type anionic clays: Preparation, properties and applications/ F. Cavani, F. Trifiró and A. Vaccari// Catalysis Today. – 1991. – V. 11(2). – P. 173-301. DOI:10.1016/0920-5861(91)80068-K

16. Qiu B. Facile synthesis of the Ti^{3+} self-doped TiO_2-graphene nanosheet composites with enhanced photocatalysis / B. Qiu, Y. Zhou, Y. Maet al.// Scientific reports. – 2015. – V. 5(1). – P. 1-6. DOI:10.1038/srep08591

17. Zheng Y.M. Preparation of nanostructured microspheres of Zn–Mg–Al layered double hydroxides with high adsorption property / Y.M. Zheng, N. Li and W.D. Zhang // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2012. – V. 415. – P. 195-201. DOI:10.1016/j.colsurfa.2012.10.014

18. Kathiravan A. Photosensitization of colloidal TiO_2 nanoparticles with phycocyanin pigment / A. Kathiravan and R. Renganathan // Journal of Colloid and Interface Science. – 2009. – V. 335(2). – P. 196-202. DOI:10.1016/j.jcis.2009.03.076

19. Huang C.Synthesis of Neutral SiO_2/TiO_2 Hydrosol and Its Application as Antireflective Self-Cleaning Thin Film/ C. Huang, H. Bai, Y. Huang // International Journal of Photoenergy. – 2012. – V. 2012. DOI:10.1155/2012/620764

20. Andersen F.A.Infrared spectra of amorphous and crystalline calcium carbonate/ F. A. Andersen and L. Brecevic // ActaChim. Scand. – 1991. – V. 45(10). – P. 1018-1024.

21. Jin Y.S. The effect of internal oxidation from serpentine on generating reconditioning layer on worn ferrous metal surfaces/ Jin Y.S.// China Surface Engineering. – 2010. – V. 23(1). – P. 45-50.

22. Yu H.L.Effect of thermal activation on the tribological behaviours of serpentine ultrafine powders as an additive in liquid paraffin/ H.L. Yu, Y. Xu, P.J. Shi et al. // Tribology International. – 2011. – V. 44(12). – P. 1736-1741. DOI:10.1016/j.triboint.2011.06.022

23. Chakraborty S.Effect of surfactant on thermo-physical properties and spray cooling heat transfer performance of Cu-Zn-Al LDH nanofluid / S. Chakraborty, I. Sengupta, I. Sarkar et al. // Applied Clay Science. – 2019. – V. 168. – P. 43-55. DOI:10.1016/j.clay.2018.10.018

24. Tsiganov A. Synthesis, structure and tribological properties of nanocomposite materials in the system of potassium polytitanate–layered double hydroxide–serpentinite / A. Tsiganov, A. Krivonogova, T. Nikityuket al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – V. 560(1). – P. 012191. DOI: 10.1088/1757-899X/560/1/012191