



Югорский
государственный
университет

ВЕСТНИК

BULLETIN
YUGRA STATE UNIVERSITY

ТОМ 20, ВЫПУСК 1

2024

ЮГОРСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НОМЕРА:

- Сравнение алгоритмов сегментации облаков и их теней на космических снимках
- Получение пеноалюминия с применением альтернативного порофора
- Перспективы использования нейронных сетей для предупреждения экологической преступности
- Внедрение вертикальных солнечных электростанций в энергетическую систему европейской части России



г. Ханты-Мансийск

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ЮГОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА»

Лапшин Валерий Федорович – главный редактор, доктор юридических наук, доцент, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», v_lapshin@ugrasu.ru, +7 (3467) 377-000 (доб. 559);

Шарова Полина Сергеевна – ответственный секретарь редакционной коллегии, заведующий единой редакцией научных журналов ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», p_sharova@ugrasu.ru, +7 (3467) 377-000 (доб. 421);

Самарина Ольга Владимировна – ответственный редактор по направлению 1.2 Компьютерные науки и информатика по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки), кандидат физико-математических наук, доцент, руководитель инженерной школы цифровых технологий ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Осипов Дмитрий Сергеевич – ответственный редактор по направлению 2.4 Энергетика и электротехника по специальности 2.4.3 Электроэнергетика (технические науки), доктор технических наук, профессор, руководитель политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Королев Максим Игоревич – ответственный редактор по направлению 2.6 Химические технологии, науки о материалах, металлургия по специальности 2.6.17 Материаловедение (технические науки), кандидат технических наук, доцент, руководитель высшей нефтяной школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Розенко Станислав Васильевич – ответственный редактор по направлению 5.1 Право по специальности 5.1.4 Уголовно-правовые науки, кандидат юридических наук, руководитель высшей школы права ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

1.2 Компьютерные науки и информатика по специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки):

Вохминцев Александр Владимирович – доктор технических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Интеллектуальные информационные технологии и системы» ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет» совместно с ФИЦ «Информатика и управление Российской академии наук Института системного анализа»;

Загребина Софья Александровна – доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, заведующий кафедрой «Математическое и компьютерное моделирование» ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный институт»;

Кожанов Александр Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБН «Институт математики имени С. Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук»;

Кутышкин Андрей Валентинович – доктор технических наук, профессор инженерной школы цифровых технологий ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Мельников Андрей Витальевич – доктор технических наук, профессор базовой кафедры ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет» на базе АУ «Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий», директор АУ «Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий»;

Полищук Юрий Михайлович – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник центра дистанционного зондирования Земли АУ «Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий»;

Попков Юрий Соломонович – доктор технических наук, профессор, академик РАН, директор Института системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук»;

Пятков Сергей Григорьевич – доктор физико-математических наук, профессор инженерной школы цифровых технологий ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет».

2.4 Энергетика и электротехника по специальности 2.4.3 Электроэнергетика (технические науки):

Горюнов Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрооборудование промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»;

Ковалев Владимир Захарович – доктор технических наук, профессор политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Новожилов Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Электроэнергетика» Павлодарского государственного университета им. С. Торайтыгова (Казахстан);

Никитин Константин Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»;

Осипов Дмитрий Сергеевич – доктор технических наук, профессор политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Сидоров Олег Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрооборудование железнодорожного транспорта» ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения»;

Сычев Юрий Анатольевич – доктор технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика и электромеханика» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»;

Харламов Виктор Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрические машины и общая электротехника» ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения».

2.6 Химические технологии, науки о материалах, металлургия по специальности 2.6.17 Материаловедение (технические науки):

Алымов Михаил Иванович – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Директор ФГБН «Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения (ИСМАН) РАН»;

Баев Владимир Константинович – доктор технических наук, главный научный сотрудник ФГБН Институт

теоретической и прикладной механики имени С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук»;

Гуляев Павел Юрьевич – доктор технических наук, профессор политехнической школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Еськов Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор, начальник кафедры информационной безопасности ФГКОУ ВО «Краснодарский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации»;

Клименко Любовь Степановна – доктор химических наук, профессор высшей нефтяной школы ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Нехорошев Сергей Викторович – доктор технических наук, главный научный сотрудник проблемной научно-исследовательской лаборатории БУ «Ханты-Мансийская государственная медицинская академия»;

Пронин Сергей Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова»;

Сахаров Юрий Владимирович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры физической электроники ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР).

5.1 Право по специальности

5.1.4 Уголовно-правовые науки (юридические науки):

Авдеев Вадим Авдеевич – доктор юридических наук, профессор высшей школы права ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Анисимов Валерий Филиппович – доктор юридических наук, профессор высшей школы права ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»;

Козаченко Иван Яковлевич – доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой уголовного права ФГБОУ ВО «Уральский государственный юридический университет»;

Кибальник Алексей Григорьевич – доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой уголовного права и процесса ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»;

Понятовская Татьяна Григорьевна – доктор юридических наук, профессор, профессор кафедры уголовного права ФГБОУ ВО «Московский государственный юридический университет имени О. Е. Кутафина»;

Рарог Алексей Иванович – доктор юридических наук, профессор, научный руководитель кафедры уголовного права ФГБОУ ВО «Московский государственный юридический университет имени О. Е. Кутафина»;

Сергевнин Владимир Анатольевич – доктор юридических наук, профессор, директор Центра прикладного уголовного правосудия, профессор Школы правоохранения и управления юстицией Западного Иллинойского университета;

Шеслер Александр Викторович – доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права ФКОУ ВО «Кузбасский институт Федеральной службы исполнения наказаний», профессор кафедры уголовного права ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

ISSN 2078-9114 (Online) | ISSN 1816-9228 (Print)
Журнал издается с 2005 года
Журнал включен в РИНЦ

РОССИЙСКИЙ ИНДЕКС
НАУЧНОГО ЦИТИРОВАНИЯ
Science Index

© ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет», 2024



ВЕСТНИК BULLETIN¹⁶⁺

YUGRA STATE UNIVERSITY

ЮГОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Том 20, выпуск 1 (2024)

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-73606 от 31 августа 2018 г.

Адрес учредителя, издателя и редакции:
628012, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра,
г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16

Главный редактор – Лапшин Валерий Федорович,
тел. +7 (3467) 377-000 (доб. 559)

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 5

Галай М.С., Сидоров Э.С.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА
ПРИ СВАРКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ
ТЕРМИТНЫМ СПОСОБОМ 5

**Кашапов Н.Ф., Чебакова В.Ю., Чебакова Е.В.,
Кормушин К.В.**
АЛГОРИТМ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
ПРИКАТОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
ЭЛЕКТРОВЫДЕЛЕНИЯ ЦИНКА 11

Носков С.И.
ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОСТОЙ
ВЛОЖЕННОЙ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ
РЕГРЕССИИ С ЛИНЕЙНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ 19

Соколов О.И.
СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ СЕГМЕНТАЦИИ
ОБЛАКОВ И ИХ ТЕНЕЙ НА КОСМИЧЕСКИХ
СНИМКАХ 22

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ 29

**Готлиб Е.М., Валеева А.Р.,
Вахитова М.Ю., Гимранова А.Р.**
ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗ РИСОВОЙ
ШЕЛУХИ И АКТИВАЦИИ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ
НА ЕГО СВОЙСТВА И МОДИФИЦИРУЮЩИЙ
ЭФФЕКТ В ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРАХ 29

Горунов А.И., Нюхляев О.А., Гильмутдинов А.Х.
ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА ТРУБ ИЗ СТАЛИ 09Г2С 35

Лопин И.В., Гильмутдинов И.М.
ПОЛУЧЕНИЕ ПЕНОАЛЮМИНИЯ
С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНОГО
ПОРОФОРА 46

**Шерина Ю.В., Луц А.Р.,
Богатов М.В., Голубовский Е.Н.**
ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА
АРДС ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ, АРМИРОВАННЫХ
ВЫСОКОДИСПЕРСНОЙ ФАЗОЙ КАРБИДА
ТИТАНА, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ
АЛЮМИНИЕВО-МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ 51

УГОЛОВНОЕ ПРАВО И КРИМИНОЛОГИЯ .. 62

Жилкин М.Г., Чуканова Е.С.
УГОЛОВНО-ПРАВОВАЯ ОЦЕНКА ГРАБЕЖА
КАК МАЛОЗНАЧИТЕЛЬНОГО ДЕЯНИЯ: АНАЛИЗ
СУДЕБНОЙ ПРАКТИКИ 62

Звонов А.В.
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СУБЪЕКТОВ ИСПОЛНЕНИЯ
НАКАЗАНИЯ КАК ФАКТОР РЕАЛИЗАЦИИ ЕГО
СОДЕРЖАНИЯ 71

Кудрявцев А.В.
О НЕКОТОРЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАТИВНО-РОЗЫСКНОГО
СОПРОВОЖДЕНИЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И
РАССЛЕДОВАНИЯ ПРЕСТУПЛЕНИЙ 76

Меньшикова А.Г.
ХУЛИГАНСТВО, СОВЕРШЕННОЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ
НАСИЛИЯ К ГРАЖДНАМ: ПРОБЛЕМЫ
КВАЛИФИКАЦИИ 80

Хохрин С.А.
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА
МАТЕРИАЛОВ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ НА
ЭКСПЕРТИЗУ В ОТНОШЕНИИ ЭКСТРЕМИСТСКОЙ
ОРГАНИЗАЦИИ «АРЕСТАНТСКОЕ УГОЛОВНОЕ
ЕДИНСТВО» 85

Шапошников А.С.
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРЕСТУПНОСТИ 90

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА 96

Архипова О.В., Ковалев В.З., Сайфуллин Р.В.
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ
К МОНИТОРИНГУ И ДИАГНОСТИКЕ
СОСТОЯНИЯ АКТИВНОЙ ЧАСТИ СИЛОВЫХ
ТРАНСФОРМАТОРОВ 96

Бубенчиков А.А., Горюнов В.Н., Дорогов Б.Б.
ВНЕДРЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СОЛНЕЧНЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ
СИСТЕМУ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ 102

Ниязов А.Р., Осипов Д.С., Шепелев А.О.
АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
ПОЛЕЙ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕРСОНАЛА
И НАДЕЖНОСТЬ ПОЛЕТОВ БЕСПИЛОТНЫХ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ
МОНИТОРИНГЕ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ
110 КВ 111

Антонов А.И., Руди Д.Ю.
ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВНЫХ И ПАССИВНЫХ
ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ
ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ
ГАРМОНИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ 118



МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА ПРИ СВАРКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ ТЕРМИТНЫМ СПОСОБОМ

Галай Марина Сергеевна,

кандидат технических наук, доцент,
Сибирский государственный университет путей
сообщений
Новосибирск, Россия
E-mail: galayms@mail.ru

Сидоров Эдуард Сергеевич,

Сибирский государственный университет путей
сообщений
Новосибирск, Россия
E-mail: sesnsk@mail.ru

Предмет исследования: изучение процесса распределения тепла при термитной сварке железнодорожных рельсов.

Цель исследования: изучение процесса теплообмена системы «литейная форма – сварной шов – рельс» путем моделирования в специальной программе для литейных процессов LVMFlow.

Методы и объекты исследования: объектом исследования являются сварные соединения рельсов. Метод исследования – моделирование процесса термитной сварки рельсов в программном продукте LVMFlow.

Основные результаты исследования: разработаны 3D-модели теплообмена системы «литейная форма – сварной шов – рельс» с учетом фазовых переходов. На основе предложенных моделей представлены термограммы распределения температурных полей как по сечению сварного соединения, так и по длине сварного соединения. Результаты моделирования подтверждены результатами натуральных экспериментов.

Ключевые слова: моделирование, сварной шов, теплообмен, распределение температуры, сварка.

MODELING OF THE HEAT TRANSFER PROCESS DURING THERMITE WELDING OF RAILWAY RAILS

Marina S. Galay

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Siberian Transport University
Novosibirsk, Russia
E-mail: galayms@mail.ru

Eduard S. Sidorov

Siberian Transport University
Novosibirsk, Russia
E-mail: sesnsk@mail.ru

Subject of research: study of heat distribution process during thermite welding of railway rails

The purpose of the study: to study the heat exchange process of the “mold – weld – rail” system by modeling in a special program for casting processes LVMFlow product.

Methods and objects of research: the object of research is rails welded joints. The research method is modeling the thermite welding process of rails in the LVMFlow software product.

The main results of the study: 3D models of heat transfer of the casting “mold – weld – rail” system have been developed taking into account phase transitions. Based on the proposed models distribution temperature thermograms fields are presented along section of welded joint and along length of the welded joint. The simulation results are confirmed by results of experiments.

Keywords: modeling, weld, heat transfer, temperature distribution, welding.

ВВЕДЕНИЕ

Термитная сварка рельсов используется на сети железных дорог при создании бесстыкового пути уже много лет, однако до сих пор имеется ряд проблем, связанных как с технологией производства данной сварки, так и с качеством сварных соединений. Технология термитной сварки рельсов состоит из трех этапов: подготовительного этапа, процесса сварки и послесварочного этапа (рисунок 1). Подготовительный этап заключается в установке тигля и заполнении его термитной смесью, формировании сварочного зазора между рельсами и установке литейной формы, подогрева концов рельсов. Процесс сварки осуществляется путем воспламенения термитной смеси, в результате плавления которой происходит экзотермическая реакция с выделением большого количества тепла. После завершения реакции жидкий расплав вытекает из тигля в литейную форму, заполняя сварочный зазор между рельсами.

По окончании процесса кристаллизации сварочной ванны приступают к послесварочным операциям: демонтаж сварочного оборудования, удаление грата с головки рельсов и литников, шлифование поверхности катания головки рельсов в области сварного соединения [1-5].

Из описания технологического процесса термитной сварки рельсов видно, что данный вид сварки в большей степени относится к металлургическому процессу разливки металла в форму. Поэтому в сварных соединениях рельсов, полученных термитной сваркой, чаще наблюдаются дефекты, которые присущи отливкам: раковины, шлаковые включения, пузыри, горячие трещины в литом металле (рисунок 2).

Дефекты литья являются трудновывяемыми дефектами, поскольку термитный сварной шов отличается от материала рельса, поэтому при проведении контроля средствами дефектоскопии возможна регистрация ложных сигналов [6, 7].



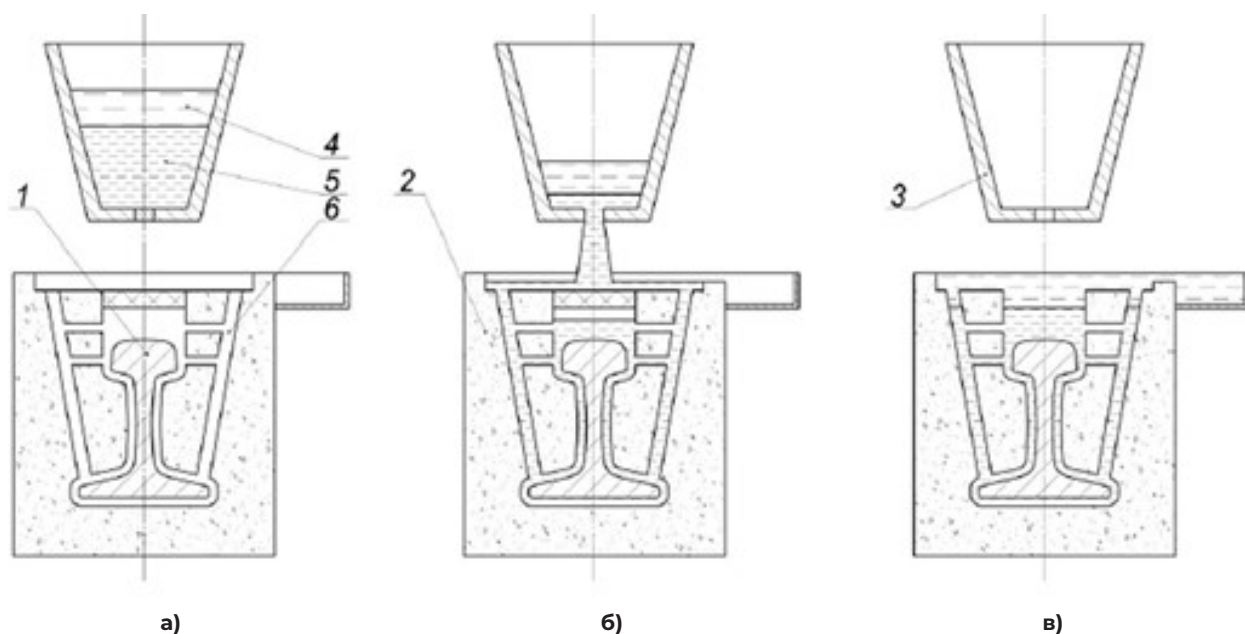


Рисунок 1. Схема термитной сварки рельсов: а – плавление термитной смеси; б – заливка расплавленной термитной смеси в форму; в – кристаллизация сварного шва; 1 – рельс, 2 – форма, 3 – тигель, 4 – расплавленный шлак, 5 – расплавленный металл, 6 – литник.

Образование дефектов литья при термитной сварке рельсов зависит от характера кристаллизации расплава в литейной форме, который, в свою очередь, определяется тепловыми процессами, происходящими в системе «литейная форма – сварной шов – рельс». Однако изучение теплообмена системы «литейная форма – сварной шов – рельс» представляет собой сложную задачу, поскольку нет возможности установить датчики измерения температуры в литейной форме и в сварном шве, так как заливаемый металл имеет высокую температуру (2300 ... 2800 °С) и может

повредить датчики [1]. Поэтому изучение процесса теплообмена термитной сварки целесообразно проводить с использованием программных продуктов. В настоящее время для моделирования процесса сварки рельсов используются различные пакеты программного обеспечения [8-11]. В данной статье представлена модель, разработанная в среде LVMFlow, в которой учтены процессы теплообмена системы «литейная форма – сварной шов – рельс», и она позволяет определить температуру в процессе кристаллизации сварного соединения.



а)



б)

Рисунок 2. Дефекты сварных соединений рельсов, полученных термитной сваркой: а) раковина в головке рельса, б) раковины в подошве рельса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Доминирующее влияние на изменение температуры в термитных сварных швах оказывает теплопроводность. Таким образом, энергетический баланс внутри исследуемого термитного сварного соединения задается как:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial Q}{\partial t} + \nabla(\lambda \nabla T), \quad (1)$$

где $\frac{\partial T}{\partial t}$ – изменение температуры, $\frac{\partial Q}{\partial t}$ – скорость тепловыделения, C_p – удельная теплоемкость, λ – коэффициент теплопроводности, ρ – плотность материала.

Из-за сложной природы термитной сварки трудно включить все физические явления в одну модель. Поэтому другие термически значимые физические процессы теплообмена в период сварки: затвердевание, тепловая конвекция и излучение представлены в модели через свойства материала, граничные и начальные условия.

В процессе термитной сварки рельсов осуществляются процессы плавления и кристаллизации, которые сопровождаются фазовыми переходами, поэтому необходимо учесть скрытую теплоту. Существует несколько способов учета скрытого тепла, выделяемого (или поглощаемого) во время этих фазовых превращений. В нашем случае было включено скрытое тепло через удельную теплоемкость:

$$C_p = \frac{i_2(T_2) - i_1(T_1)}{dT}, \quad (2)$$

где $i_2(T_2) - i_1(T_1)$ – изменение энтальпии, dT – температура.

Численное моделирование осуществляли в среде LVMFlow. При моделировании процесс термитной сварки рельсов был разделен на две стадии. Первая стадия – это время от момента заливки металла в литейную форму и до момента удаления литейной формы и излишков металла. Вторая стадия – это время от снятия литейной формы и до полного остывания сварного шва. Для двух стадий были построены две модели (рисунок 3).

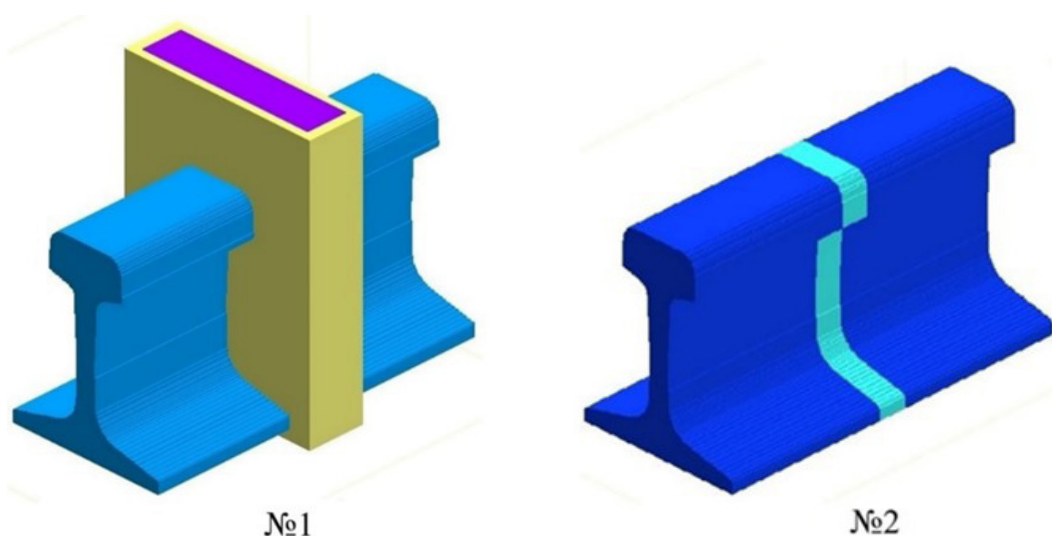


Рисунок 3. Трехмерные модели термитных сварных соединений рельсов: №1 – модель сварного соединения с литейной формой, №2 – модель сварного соединения без литейной формы.

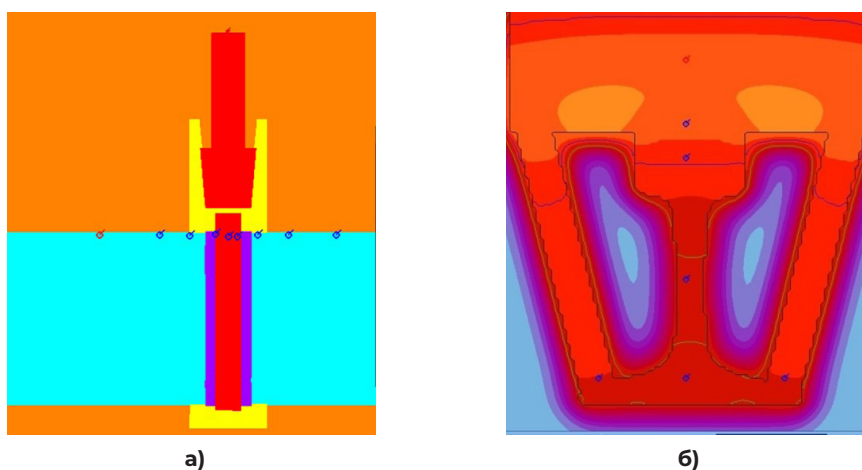
Модель №1, состоящая из двух соединяемых рельсов, сварного шва, литейной формы, литников и прибыльной части. Модель №2, состоящая из двух рельсов и сварного шва, необходима для того, чтобы оценить изменение температуры металла в зоне сварного шва. Проектирование моделей выполняли с помощью САПР «КОМПАС-3D». Размеры профиля моделей свариваемых рельсов соответствовали значениям, указанным в нормативной документации [12, 13]. Полученные в результате проектирования объекты были конвертированы в формат, поддерживаемый

программным комплексом LVMFlow. При конвертировании задан размер ячеек разностной сетки равный 1 мм, что позволило обеспечить высокую точность вычислений в процессе моделирования охлаждения термитных сварных соединений рельсов за счет соответствия формы и размеров моделей реальным объектам. При моделировании были приняты начальные условия, приведенные в таблице 1.

Продолжительность процесса охлаждения модели с литейной формой при моделировании (модель №1) была такой же,

Таблица 1. Начальные условия для моделирования процесса термитной сварки

	Модель № 1 (с литейной формой)	Модель № 2 (без литейной формы)
Марка рельсовой стали	Сталь 76ХФ	
Материал сварного шва	Сталь 60	
Материал формы	Кварцевый песок	
Температура заливаемого металла, °C	2500	-
Температура металла сварного шва, °C	2500	1500
Температура концов свариваемых рельсов, °C	850	1200
Температура литейной формы, °C	850	-
Температура воздуха окружающей среды, °C	20	
Плотность рельсовой стали и материала шва, кг/м ³	7800	
Плотность материала формы, кг/м ³	1600	

**Рисунок 4.** Размещение температурных датчиков при моделировании: а) по длине рельса, б) по сечению рельса.

как при сварке рельсов в условиях пути по технологической инструкции [4] и составила 660 секунд. Именно столько времени необходимо для кристаллизации металла головки рельса в зоне сварного шва. Преждевременное удаление литейной формы приводит к утечке не кристаллизовавшегося металла и повреждению рельса. Более длительное ожидание увеличивает общую продолжительность технологического процесса сварки рельсов. Начальные температуры для модели № 2 определены экспериментально, по результатам первого этапа моделирования с литейной формой (модель № 1). Во время демонтажа литейной формы температура сварного шва составляет порядка 1500 °C, а температура концов свариваемых рельсов составляет в среднем 1200 °C. Показания температуры при моделировании термитных сварных стыков получали с датчиков (рисунок 4), установленных по сечению сварного шва и по длине сварного соединения рельса.

На рисунке 5 представлены результаты моделирования теплообмена системы «литейная форма – сварной шов – рельс». Модели 1–4 отображают изменение температуры с момента заливки жидкого металла в литейную форму до момента её демонтажа. Наибольший отвод тепла происходит в свариваемые рельсы. При этом подошва рельса и шейка рельса охлаждаются быстрее, чем головка. Это объясняется тем, что над головкой рельса имеется прибыльная часть, в которой в последнюю очередь происходит кристаллизация сплава.

Модели 5–8 показывают распределение температуры после удаления литейной формы. Следует отметить, что при термитной сварке происходит кристаллизация большой массы металла, это приводит к тому, что процесс кристаллизации в различных объемах происходит одновременно, что подтверждается данными на моделях 5–8. Разная скорость охлаждения способствует образованию различных структур, соответственно, свойств материала.

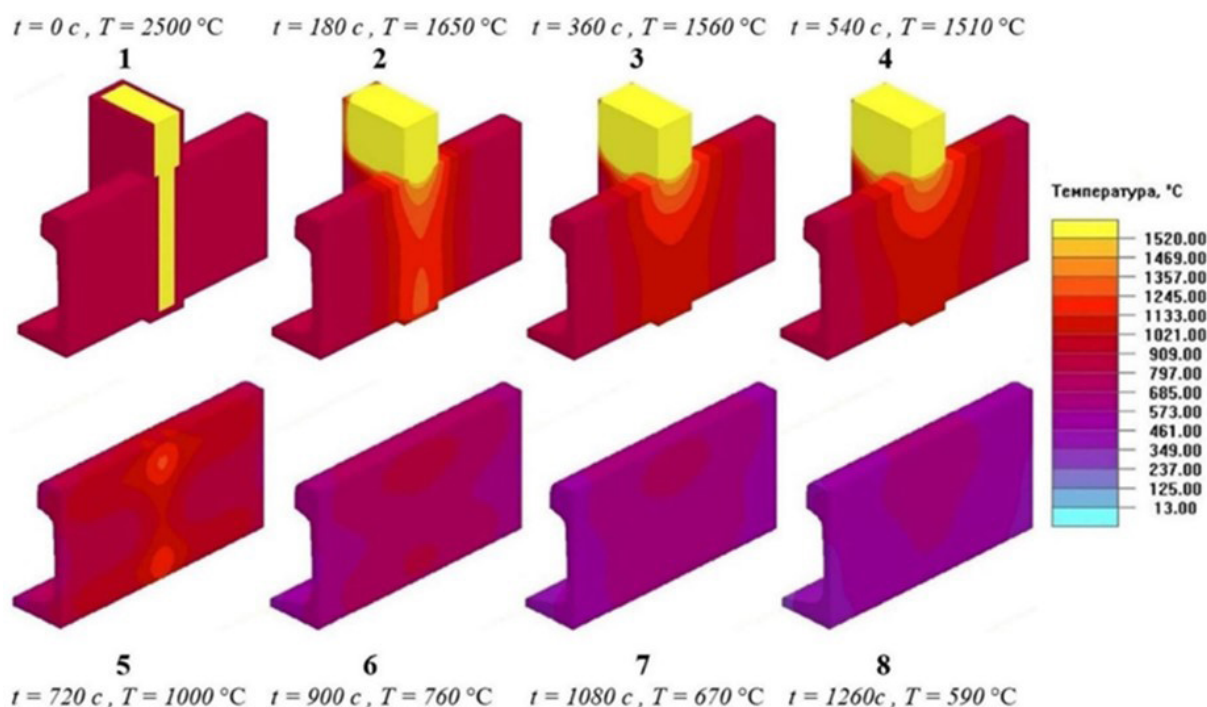


Рисунок 5. Распределение тепла по термитному сварному соединению рельсов: 1 – момент заливки жидкого сплава в литейную форму; 2 – 180 с после заливки сплава в литейную форму; 3 – 360 с после заливки сплава в литейную форму; 4 – 540 с после заливки сплава в литейную форму; 5 – 720 с после заливки сплава в литейную форму; 6 – 900 с после заливки сплава в литейную форму; 7 – 1080 с после заливки сплава в литейную форму; 8 – 1260 с после заливки сплава в литейную форму.

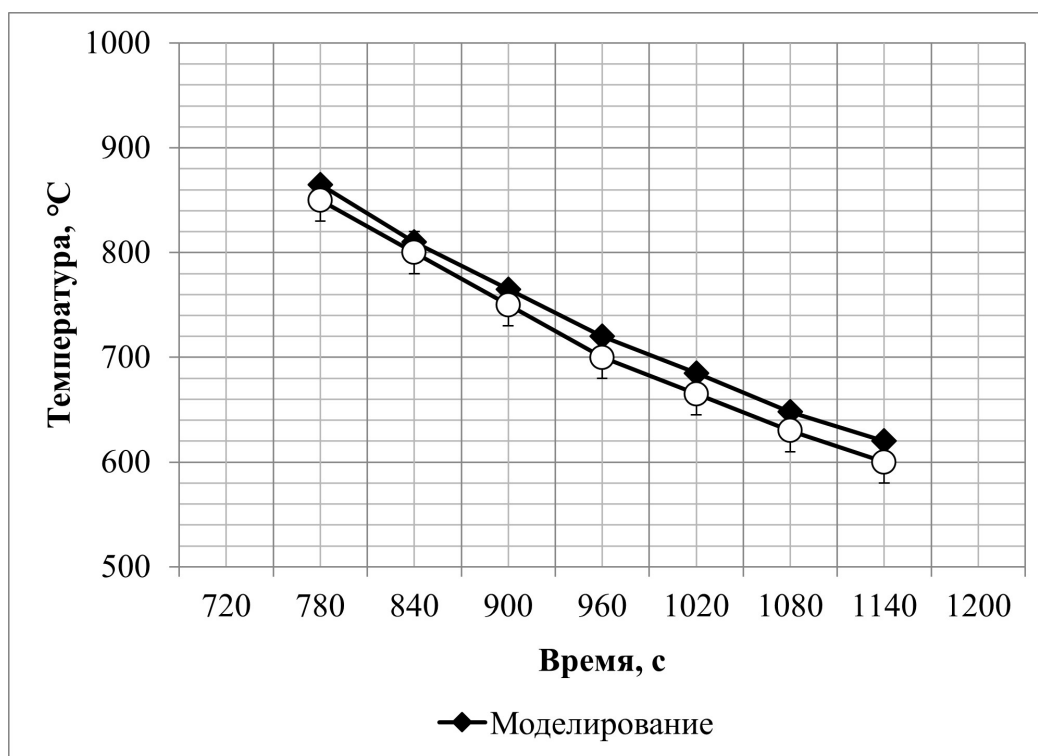


Рисунок 6. Температура поверхности катания головки рельса в зоне сварного шва после удаления литейной формы.

Результаты моделирования были подтверждены экспериментальным путем. С помощью цифрового пирометра Mastech MS6550A измеряли температуру поверхности головки рельса в зоне сварного шва после удаления литейной формы.

На рисунке 6 приведены графики, отражающие изменения температуры сварных швов в процессе моделирования и при проведении эксперимента. Экспериментальные значения на 15 ... 20 °C ниже результатов моделирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Следовательно, значения температур, полученные при моделировании и в результате проведения эксперимента, отличаются менее чем на 5 %. Таким образом, эксперимент показал, что разработанная модель термитных сварных соединений рельсов имеет достаточно высокую точность и может быть использована в технологическом процессе сварки рельсов термитным способом для определения температуры поверхности катания сварных швов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Пасько, С. В. Алюмотермитная сварка рельсов методом промежуточного литья: учебное пособие / С. В. Пасько, Л. Б. Тихомирова, О. В. Болотова – Новосибирск: Издательство СГУПС, 2010 – 76 с. – Текст : непосредственный.
- Воронин, Н. Н. Алюминотермитная сварка рельсов: учебное пособие / Н. Н. Воронин, В. В. Засыпкин, В. И. Коненков, Э. В. Воробьев, О. Н. Трынкова – М.: Изд. «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. – 195 с. – Текст : непосредственный.
- Давыдкин, А. В. Особенности алюминотермитной сварки рельсов / А. В. Давыдкин, С. В. Николаев. – Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. – 2017. – № 3. – С. 26–27.
- ТУ 24.10.75–337–01124323–2019. Рельсы железнодорожные, сваренные термитным способом. Технические условия. Введ. 01.08.2019. – М.: АО «ВНИИЖТ», 2019. – 68 с. – Текст : непосредственный.
- Козырев, Н. А. Современные методы сварки рельсов нового поколения / Н. А. Козырев, А. А. Усольцев, Р. А. Шевченко, Р. Е. Крюков, П. Е. Шишкин. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2017. – Том 60. – № 10. – С. 785–791.
- Брандис, М. П. Ультразвуковой контроль стыков алюминотермитной сварки рельсов / М. П. Брандис, В. П. Глотов. – Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 2. – С. 32–36.
- Рукавчук, Ю. П. Дефектность стыков алюминотермитной сварки рельсов / Ю. П. Рукавчук, С. А. Рождественский, И. З. Этинген. – Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. – 2011. – № 4. – С. 26–27.
- Быков, П. О. Современные компьютерные системы синтеза и анализа литейных технологий / П. О. Быков, В. Я. Шевченко. – Текст : непосредственный // Наука и техника Казахстана. – 2005. – № 1. – С. 10–18. – ISSN 1680-9165.
- Малькова, Н. Ю. Разработка технологии изготовления отливок с использованием систем компьютерного моделирования / Н. Ю. Малькова, Е. А. Кошелева, И. В. Марширов, Ю. В. Исаева. – Текст : непосредственный // Ползуновский альманах. – 2016. – № 4. – С. 77–80.
- Ильиных, А. С. Совершенствование технологии алюминотермитной сварки рельсов на основе программного моделирования / А. С. Ильиных, М. С. Галай, Э. С. Сидоров, С. В. Щелоков. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 4(59). – С. 16–21.
- Jovanović, G. Model development for casting simulation of railway aluminothermic welding // Jovanović G., Delic A., Manojlović V., Sokić M., Gavrilovski M. // Tehnika. – 2023. – V. 78. – pp. 425–430. – DOI: 10.5937/tehnika2304425J.
- ТУ 159000-001-72253988-2009. Форма для алюминотермитной сварки. Технические условия. Введ. 20.04.2009. – М.: ЗАО «СНАГА», 2009.
- ГОСТ 34664–2020. Рельсы железнодорожные, сваренные термитным способом. Технические условия. – Введ. 2021–03–01. – М.: Стандартинформ, 2020. – 15 с.



АЛГОРИТМ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИКАТОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОВЫДЕЛЕНИЯ ЦИНКА

Кашапов Наиль Фаикович,

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры Физики перспективных
технологий и материаловедения, Казанский
(Приволжский) федеральный университет,
Заместитель руководителя, «Федеральный
исследовательский центр Казанский научный
центр Российской академии наук»
Казань, Россия
E-mail: kashnail@gmail.com

Чебакова Виолетта Юрьевна,

кандидат физико-математических наук,
доцент Института вычислительной математики
и информационных технологий,
Казанский (Приволжский) федеральный
университет
Казань, Россия
E-mail: vchebakova@mail.ru

Чебакова Евгения Вячеславовна,

Химический институт им. А. М. Бутлерова,
Казанский (Приволжский) федеральный
университет
Казань, Россия
E-mail: evgeneachebakova@mail.ru

Кормушин Константин Владимирович,

ассистент кафедры Материаловедения,
сварки и производственной безопасности,
Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ
Казань, Россия
E-mail: KVKormushin@kai.ru

**Исследование выполнено за счет гранта Российского
научного фонда (проект № 23-29-00099).**

Предмет исследования: в работе представлен численный алгоритм нахождения констант скоростей гетерогенных процессов для последующего их исследования.

Цель исследования: Цифровое прототипирование электроосаждения цинкового покрытия путем выщелачивания обедненной цинковой руды.

Методы исследования: алгоритм представлен на примере задачи прогнозирования выделения цинка при параллельной реакции выхода водорода при электролизе раствора гидроксида натрия, содержащего тетрагидроксоцинкат натрия и верифицирован на натурных экспериментах. Так, в данной статье методом прямого поиска находятся константы прикатодных стадийных электрохимических реакций получения порошка цинка. Сама же система кинетических уравнений, описывающая стадийные прикатодные реакции, решается классическим методом Рунге-Кутты.

Основные результаты исследования: моделирование учитывает наличие параллельного процесса выделения водорода и происходит в приближении пористой пленки при образовании осадка. Численный алгоритм, разработанный авторами, также позволяет прогнозировать выход вещества по току.

Ключевые слова: электровыделение цинка, прогнозирование, численная оптимизация, стадийные электрохимические реакции, метод Рунге-Катта.

ALGORITHM FOR THE NUMERICAL INVESTIGATION OF CATHODE PROCESSES OF ZINC ELECTROEXTRACTION

Nail F. Kashapov

Doctor of Engineering Science, Professor,
Professor of the Department of Physics of Advanced
Technologies and Materials Science, Kazan Federal
University, Deputy Head of «Kazan Scientific Center of
the Russian Academy of Sciences»
Kazan, Russia
E-mail: kashnail@gmail.com

Violetta Yu. Chebakova

Candidate of Science of Physics and Mathematics,
Associate professor at the Department
of Data Analysis and Programming Technologies,
Kazan Federal University
Kazan, Russia
E-mail: vchebakova@mail.ru

Evgenia V. Chebakova

Chemical Institute named after A. M. Butlerov,
Kazan Federal University
Kazan, Russia
E-mail: evgeneachebakova@mail.ru

Konstantin V. Kormushin

assistant at the Department of Material Science,
Welding and Industrial Safety,
Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev – KAI
Kazan, Russia
E-mail: KVKormushin@kai.ru

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 23-29-00099).

Subject of research: the paper presents a numerical algorithm for detecting the rate constants of heterogeneous processes for their further investigation.

Purpose of research: Digital prototyping of electrodeposition of zinc coating by leaching depleted zinc ore.

Methods of research: the algorithm is presented on the example of predicting the dezincification during parallel hydrogen release reaction in electrolysis of a sodium hydroxide solution, which contains sodium tetrahydroxozincate, and verified using full-scale experiments. So, in this article, there are detected the constants of cathode stepwise electrochemical reactions for zinc powder obtaining using direct search method. The kinetic equation system itself, which describes cathode stepwise reactions, is solved using classical Runge-Kutta method.

Main results of research: the modeling makes allowance for the presence of parallel process of hydrogen release and occurs in the approximation of porous film during the settling-out. The numerical algorithm, developed by the authors, make it also possible to predict the current yield of substance.

Keywords: zinc electroextraction, predicting, numerical optimization, stepwise electrochemical reactions, Runge-Kutta method.



ВВЕДЕНИЕ

Электрическое цинкование применяется для получения покрытий, обладающих антикоррозионными свойствами, в автомобилестроении и авторемонтном производстве. В работе [1] гальваническое цинкование из сернокислого электролита рассматривается как процесс получения антикоррозионных покрытий. В работе [2] предложено рациональное использование цинковых покрытий для защиты труб от коррозии, предположение выдвинуто на основе анализа различных способов нанесения покрытий. Однако, кроме защитных свойств, данные покрытия обладают достаточной твердостью и износостойкостью, что позволяет использовать электрическое цинкование для восстановления изношенных поверхностей деталей машин. Так, в [3] отмечено следующее преимущество электрического цинкования перед горячим: отсутствие термического воздействия на детали, приводящего к изменению структуры и физико-механических свойств, осаждение покрытия с заданной толщиной, что позволяет минимизировать последующую механическую обработку. При этом покрытие, нанесенное таким способом, по механическим свойствам подобно чистому цинку, т. е. является относительно мягким и более пористым. Также следует отметить, что гальванические не содержат интерметаллических соединений (фаз) и держатся на защищаемом материале только за счет адгезии, т. е. налипания, тогда как получаемые методом горячего цинкования представляют из себя систему железо-цинковых сплавов с постепенно уменьшающимся содержанием железа по мере приближения к внешней стороне покрытия [4]. В работе [5] предлагаются усовершенствования процесса осаждения цинка на восстанавливаемые детали в авторемонтном производстве, позволяющие повысить надежность и прочность сцепления цинка с основой. Также получают гальванические покрытия и из сплавов, содержащих цинк, так, в [6, 7] исследуют свойства цинк-никелевых покрытий, полученных как из щелочных, так и из кислых электролитов. Гальванические способы восстановления имеют несколько разновидностей, из них наиболее распространены: кислые (сульфатные), слабокислые (хлоридные и хлорамонийные) и щелочные (цианидные и цинкатные). От состава и типа электролита зависит качество получаемого осадка, его структура, физико-механические свойства, адгезия с подложкой, виды и скорость протекания электрохимических процессов. Так, в работе [8] обозначено более 20 факторов, влияющих на выбор электролита.

Таким образом, подбор электролита, параметров и времени обработки является нетривиальной задачей, требующей большого количества экспериментов, а математическое моделирование процесса электровыделения цинка может существенно уменьшить их количество. Моделирование гетерогенных процессов представляет собой отдельный вид задач, где константа скорости определяется характеристиками моделируемой гетерогенной системой: площадью реагирующей поверхности, которая зависит от шероховатости поверхности электрода и его однородности, состава электролита, значения водородного показателя.

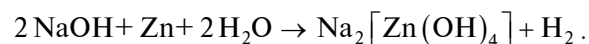
В данной работе авторами предложен метод, позволяющий находить константы скоростей стадийных процессов, а также прогнозировать выход вещества по имеющемуся небольшому количеству экспериментальных данных выхода. Данный метод формулируется, решается и верифицируется на примере получения порошка цинка при электролизе раствора гидроксида натрия, содержащего тетрагидроксоцинкат натрия.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Постановка задачи

Выщелачивание руд, обедненных содержанием металлов, а также переработка отходов металлургической промышленности представляют собой один из альтернативных способов получения металла [9].

При выщелачивании руды, в зависимости от концентрации оксида натрия в растворе, цинк в электролите может содержаться как в качестве оксида цинка ZnO , так и в качестве соединения $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$. В работе [10] показано, что 20 % концентрации раствора гидроксида натрия NaOH хватало, чтобы молярное отношение ионов гидроксильной группы OH^- к содержащемуся цинку Zn было достаточным для существования $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$, при этом, если концентрация ионов гидроксильной группы OH^- мала, то соединение $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$ переходит в оксид цинка ZnO . Таким образом, процесс выщелачивания цинкосодержащей руды в 20 % растворе NaOH можно описать общей реакцией растворения вида

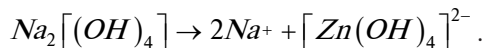


Непосредственно по поводу протекания приэлектродных реакций выделения цинка существуют различные мнения. Так, в обзоре [10], опирающемся на работу [11], приведено, что в процессе электроосаждения цинка соединение $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$ подвержено модификации в гидрированный $\text{Zn}(\text{OH})_2$, при этом

гидроксид цинка является нерастворимым основанием и, как следствие этого, его присутствие должно отмечаться в полученном осадке, однако в большинстве работ этого не наблюдается.

Для построения математической модели, описывающей прикатодные процессы, сформируем следующие предположения:

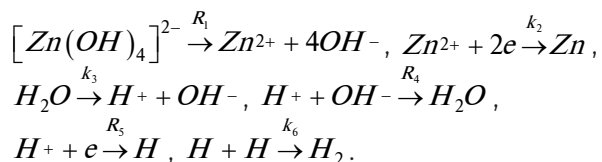
1) $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$ в электролите полностью диссоциирует на ионы



Это справедливо при концентрации гидроксида натрия в растворе от 20 %.

2) Ионы натрия Na^+ на электродах не разряжаются, накапливая с течением времени концентрацию в катодном пространстве и уменьшая ее в анодном.

3) На катоде происходит одновременное выделение водорода $2\text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ и цинка $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-} + 2e \rightarrow \text{Zn} + 4\text{OH}^-$ в следующих стадийных реакциях



4) Несмотря на то, что данные конкурирующие реакции прямо не связаны между собой, скорости стадийных реакций

$$R_i = A \exp\left(\frac{BE_{\text{перенапряжения}}}{RT}\right),$$

где А и В некоторые константы, $i = 1, 5$ экспоненциально зависят от перенапряжения на электродах, которое в нашем случае на катоде будет:

$$E_{\text{перенапряжения}} = \frac{RT}{nF} \ln(C_{\text{Zn}^{2+}} C_{\text{H}^+} / (C_{\text{H}} C_{\text{Zn}})).$$

5) Структура металлического осадка определяется рядом факторов, таких как: состав раствора, наличие в нем примесей, предварительной подготовки поверхности, плотности тока и т. д. В работах [12-14] отмечен губчатый и пористый характер покрытия из осажденного цинка. Поэтому для моделирования осаждения цинка используем приближение пористой пленки. В случае пористой пленки считается, что она не оказывает сопротивления реагентом, подходящим к поверхности раздела сред, и не влияет на скорость реакции. В случае непористой пленки сопротивлением пограничного слоя можно пренебречь, считая основным сопротивление слоя выделившегося продукта. При этом, если процесс контролируется диффузией через пограничный

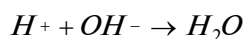
слой, то скорость процесса

$$\omega = \frac{D}{\delta} SC,$$

где δ – толщина слоя продукта, S – площадь рабочего электрода. Толщину слоя продукта в приближении решения уравнения Яндера можно считать пропорциональной времени:

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} = \frac{K}{t} \quad \text{и} \quad \delta^2 = 2Kt.$$

6) Процесс ассоциации воды



в данной модели не учитывается, так как проведенные нами в работе [15] расчеты и анализ скоростей стадийных реакций при прогнозировании катодного выхода водорода при электролизе щелочного электролита показали очень мало отличимое от нуля значение константы скорости данного процесса.

Таким образом, математическая модель состоит из системы, описывающей электрохимические стадийные прикатодные реакции:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial C_{\text{H}_2\text{O}}}{\partial t} &= -k_3 C_{\text{H}_2\text{O}} \\ \frac{\partial C_{\text{H}^+}}{\partial t} &= k_3 C_{\text{H}_2\text{O}} - k_5 C_{\text{Zn}} C_{\text{H}} / (C_{\text{Zn}^{2+}} C_{\text{H}^+}) C_{\text{H}^+} \\ \frac{\partial C_{\text{H}}}{\partial t} &= k_5 C_{\text{H}^+} C_{\text{Zn}} C_{\text{H}} / (C_{\text{Zn}^{2+}} C_{\text{H}^+}) - k_6 C_{\text{H}^+} C_{\text{H}} \\ \frac{\partial C_{\text{H}_2}}{\partial t} &= k_6 C_{\text{H}^+} C_{\text{H}} \\ \frac{\partial C_{\text{Zn}^{2+}}}{\partial t} &= k_1 C_{\text{Zn}} C_{\text{H}} / (C_{\text{Zn}^{2+}} C_{\text{H}^+}) C_{\text{Zn}(\text{OH})^{2-}} - k_2 C_{\text{Zn}^{2+}} \\ \frac{\partial C_{\text{Zn}}}{\partial t} &= k_2 C_{\text{Zn}^{2+}} \\ \frac{\partial C_{\text{Zn}(\text{OH})^{2-}}}{\partial t} &= -k_1 C_{\text{Zn}} C_{\text{H}} / (C_{\text{Zn}^{2+}} C_{\text{H}^+}) C_{\text{Zn}(\text{OH})^{2-}} - \\ &\quad - \frac{D_{\text{Zn}(\text{OH})^{2-}}}{\sqrt{2KT}} (C_{\text{Zn}(\text{OH})^{2-}} - C_0) k_7 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

Здесь $D_{\text{Zn}(\text{OH})^{2-}}$ – это диффузия ионов $\text{Zn}(\text{OH})^{2-}$ через пористую пленку осадка, C_0 – концентрация данных ионов $\text{Zn}(\text{OH})^{2-}$ в объеме электролита. Данная запись кинетических уравнений, описываемых задачами Коши, подразумевает положительность констант скоростей реакций $k_i \geq 0$, $i = 1, \dots, 7$, коэффициента пропорциональности $K \geq 0$ и значений концентраций $C_j \geq 0$,

$$j = \{ \text{H}_2\text{O}, \text{Zn}, \text{H}, \text{Zn}^{2+}, C_{\text{H}^+}, \text{H}_2, \text{Zn}(\text{OH})^{2-} \}.$$

Расчет массы осажденного цинкового осадка рассчитывается исходя из концентрации цинка и объема пленки:

$$M_{\text{Zn}} = C_{\text{Zn}} S \sqrt{2KT} * 65,38, \quad (2)$$

где T – конечное время расчетов.

Начальное приближение скоростей

реакций выбирается исходя из соотношения между скоростями стадийных реакций, стехиометрических чисел и скорости лимитирующей реакции. При этом в случае наличия двух конкурирующих цепочек прикатодных реакций, одна из которых протекает с выделением твердой фазы, отмечаются более сложные кинетические закономерности, и, следовательно, рассчитываемые таким образом начальные приближения для констант скоростей обладают большей погрешностью.

Начальные значения для концентраций заряженных частиц рассчитываются с учетом сделанных ранее предположений на момент состояния системы до подачи напряжения на электроды.

Решение задачи по поиску констант скоростей прикатодных электрохимических процессов и прогнозированию выхода строится на минимизации функционала:

$$\sum_{l=1}^n \sum_{v=1}^m (C_{l,v}^{\text{эксперимент}} - C_{l,v}^{\text{расчетные}})^2.$$

Здесь l отвечает за суммирование по времени, v же отвечает за суммирование по веществам, концентрации которых известны из экспериментов на определенные моменты времени $T_l, l = 1, \dots, n$.

В идеале желательно иметь данные как по водороду, так и по массе осаждаемого осадка, но, как правило, это – масса осаждаемого вещества в нескольких временных точках, и функционал приобретает вид:

$$M(K, k_1, \dots, k_7) = \sum_{l=1}^n (M_{Zn,l}^{\text{эксперименты}} - M_{Zn,l}^{\text{расчетные}})^2 \quad (3)$$

Численный алгоритм исследования катодных процессов

В настоящей работе показано применение метода численной оптимизации к решению обратной задачи, возникающей при прогнозировании выхода вещества в твердой фазе по току, в случае наличия двух параллельных прикатодных реакций, прямо не связанных между собой, на примере осаждения цинка с сопутствующем выделением водорода. Предложенный алгоритм базируется на методе прямого поиска численной оптимизации, дополненного проверкой ограничений, и методе Рунге-Кутты, применяемого для решения кинетической системы уравнений, описывающей стадийные электрохимические реакции.

Данный алгоритм опирается на расчет значений функционала (3), от которого ищется минимум. Значение данного функционала вычисляется путем численного решения системы кинетических уравнений (1) методом Рунге-Кутта четвертого порядка и

соотношения (2). Из семейства явных методов Рунге-Кутта четвертого порядка был выбран метод, называемый классическим методом Рунге-Кутта четвертого порядка. Точности четвертого порядка в целом достаточно для соответствия точности снятия экспериментальных данных. Для описания его реализации к данной задаче введем следующие обозначения:

$$\begin{aligned} \bar{U}(t) &= (C_{H_2O}, C_{H^+}, C_H, C_{H_2}, C_{Zn(OH)^2}, C_{Zn^{2+}}, C_{Zn})^T, \\ \bar{K} &= (k_1, k_2, k_3, k_5, k_6, k_7, K), \\ \bar{F}(t, \bar{K}, \bar{U}) &= (f_1(t, \bar{K}, \bar{U}), f_2(t, \bar{K}, \bar{U}), f_3(t, \bar{K}, \bar{U}), f_4(t, \bar{K}, \bar{U}), \\ &\quad f_5(t, \bar{K}, \bar{U}), f_6(t, \bar{K}, \bar{U}), f_7(t, \bar{K}, \bar{U}))^T \end{aligned}$$

Здесь $(\cdot)^T$ – операция транспонирования, а функции $f_1(t, \bar{K}, \bar{U}), f_2(t, \bar{K}, \bar{U}), f_3(t, \bar{K}, \bar{U}), f_4(t, \bar{K}, \bar{U}), f_5(t, \bar{K}, \bar{U}), f_6(t, \bar{K}, \bar{U}), f_7(t, \bar{K}, \bar{U})$ соответствуют правым частям системы (1):

$$f_1(t, \bar{K}, \bar{U}) = -k_3 C_{H_2O},$$

$$f_2(t, \bar{K}, \bar{U}) = k_3 C_{H_2O} - k_5 C_{Zn} C_H / (C_{Zn^{2+}} + C_{H^+}) C_{H^+},$$

$$f_3(t, \bar{K}, \bar{U}) = k_5 C_{H^+} C_{Zn} C_H / (C_{Zn^{2+}} + C_{H^+}) - k_6 C_{H^+} C_{H^+},$$

$$f_4(t, \bar{K}, \bar{U}) = k_6 C_{H^+} C_{H^+},$$

$$f_5(t, \bar{K}, \bar{U}) = -\frac{D_{Zn(OH)^2}}{\sqrt{2Kt}} (C_{Zn(OH)^2} - C_0) k_7 - k_1 C_{Zn} C_H / (C_{Zn^{2+}} + C_{H^+}) C_{Zn(OH)^2},$$

$$f_6(t, \bar{K}, \bar{U}) = k_1 C_{Zn} C_H / (C_{Zn^{2+}} + C_{H^+}) C_{Zn(OH)^2} - k_2 C_{Zn^{2+}},$$

$$f_7(t, \bar{K}, \bar{U}) = k_2 C_{Zn^{2+}}.$$

Так, система (1) переписывается в векторном виде:

$$\frac{d\bar{U}(t)}{dt} = \bar{F}(t, \bar{K}, \bar{U}), \text{ где } t_0 < t \leq T.$$

Здесь T – максимальное значение времени, на котором было зафиксировано экспериментальное значение. Покроем отрезок времени (t_0, T) сеткой

$$\omega_n = \{t_0, t_1, t_2, \dots, t_i = t_0 + ih, \dots, t_n = T\},$$

где $h = t_{i+1} - t_i = \text{const}$. Значения в узловых узлах сетки будем обозначать как:

$$t_{i+\frac{1}{2}} = t_i + h/2.$$

В узлах сетки ω_n введем сеточные функции $\bar{U}_i = \bar{U}(t_i)$ и $\bar{F}_i(t_i, \bar{K}, \bar{U}_i)$ соответствующие численному решению разностной задачи:

$$\bar{U}_{i+1} = \bar{U}_i + h \bar{d}_i.$$

Здесь

$$\bar{d}_i = (\bar{d}_i^{(1)} + 2\bar{d}_i^{(2)} + 2\bar{d}_i^{(3)} + \bar{d}_i^{(4)}),$$

$$\bar{d}_i^{(1)} = \bar{F}_i(t_i, \bar{K}, \bar{U}_i),$$

$$\bar{d}_i^{(2)} = \bar{F}_i\left(t_{i+\frac{1}{2}}, \bar{K}, \bar{U}_i + h * \bar{d}_i^{(1)} / 2\right),$$

$$\bar{d}_i^{(3)} = \bar{F}_i \left(t_{i+1}, \bar{K}, \bar{U}_i + h * \bar{d}_i^{(2)} / 2 \right),$$

$$\bar{d}_i^{(4)} = \bar{F}_i \left(t_{i+1}, \bar{K}, \bar{U}_i + h * \bar{d}_i^{(3)} \right).$$

Сам алгоритм расчета минимума происходит итерационно по каждой из констант (которые далее в описании считаются независимыми координатами).

Первый шаг метода заключается в исследующем поиске вокруг базисной точки $g(K, k_1, \dots, k_i, \dots, k_7)$ по вектору приращений $H(h, h_1, \dots, h_7)$, где h_i – это шаг по координате k_i , $i = 1, \dots, 7$. Для осуществления данного этапа по каждой координате отдельно рассчитываются значения функционала (3) в трех точках: непосредственно в точке $g(K, k_1, \dots, k_i, \dots, k_7)$, и точках, отстоящих от нее на шаг по исследуемой координате. Затем точку, в которой функционал принимает минимальное значение, принимаем за новую базисную точку. Данные итерации продолжаются до тех пор, пока базисная точка не перестанет меняться. При этом в алгоритм расчета закладывается, что точка, в которой значение координаты или любой из концентраций при расчете становится меньше нуля, исключается из рассмотрения.

Например, для координаты, отвечающей за коэффициент пропорциональности K в точках

$$\begin{aligned} &g(K, k_1, \dots, k_i, \dots, k_7), \\ &g_1(K + h, k_1, \dots, k_i, \dots, k_7), \\ &g_2(K - h, k_1, \dots, k_i, \dots, k_7), \end{aligned}$$

здесь $K - h \geq 0$ вычисляется функционал (3). Далее за новое значение координаты K принимаем то из значений K , $K + h$, и $K - h$, при котором значение функционала (3) принимает минимум. При этом, если $K - h < 0$, то данная точка убирается из рассмотрения. Пересчет продолжается до тех пор, пока значение координаты K не перестанет меняться, после чего осуществляется переход к следующей координате.

После расчета по последней координате получается новая точка g' , которая может как совпадать с первоначальной точкой $g' = g$, так и отличаться от нее $g' \neq g$.

Затем, если первоначальная базисная точка совпадает с вновь получившейся точкой $g' = g$, то уменьшаем значения компонент вектора по координатным приращениям и продолжаем поиск вокруг базисной точки. В противном случае, когда $g' \neq g$, осуществляется поиск по образцу. В нем за новую базисную точку берутся значения g' , $g + 2 * (g - g')$, при которых, опять-таки, значение функционала (3) минимально. Условием выхода является

ограничение на размер компонент вектора приращений H .

При расчете целевой функции использовался численный метод из семейства методов Рунге-Кутты четвертого порядка точности, т. е. его погрешность составляет $O(\Delta t^4)$, где t – шаг по времени. Для поиска целевой функции использовался метод Хука-Дживса, его точность определяется путем задания ограничения возможного отклонения расчетного значения параметров от значений параметров, определяющих минимум ε_i . Таким образом, погрешность метода представляет $\max_i(\Delta t^4, \varepsilon_i)$.

Результаты численных расчетов

Численный алгоритм, реализующий поставленную математическую постановку осаждения цинкового порошка, верифицирован на натурном эксперименте, описанном в [16]. В ней исследовалось влияние приложенного напряжения на приэлектродные процессы электроосаждения цинка в растворах гидроксида натрия на катоде из нержавеющей стали. Концентрация ионов цинка Zn^{2+} в приготовленном растворе составляет 10 г/л. Рабочий электрод сделан из нержавеющей стали и имеет площадь в 1 см². Воспользуемся условиями эксперимента для вывода начальных условий:

1000 грамм/л раствора дает 80 %

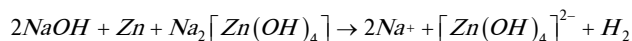
$C_{NaOH}|_{t=0}$ дает 20 %

Таким образом,

$$C_{NaOH}|_{t=0} = \frac{1000 * 0,2}{0,8} =$$

250 грамм/л $\approx$ 6,25 моль/л.

Молярная масса цинка 65,38 г/моль, и концентрация в 10 г/л дает приблизительно 0,153 моль/л, и, следуя реакции растворения



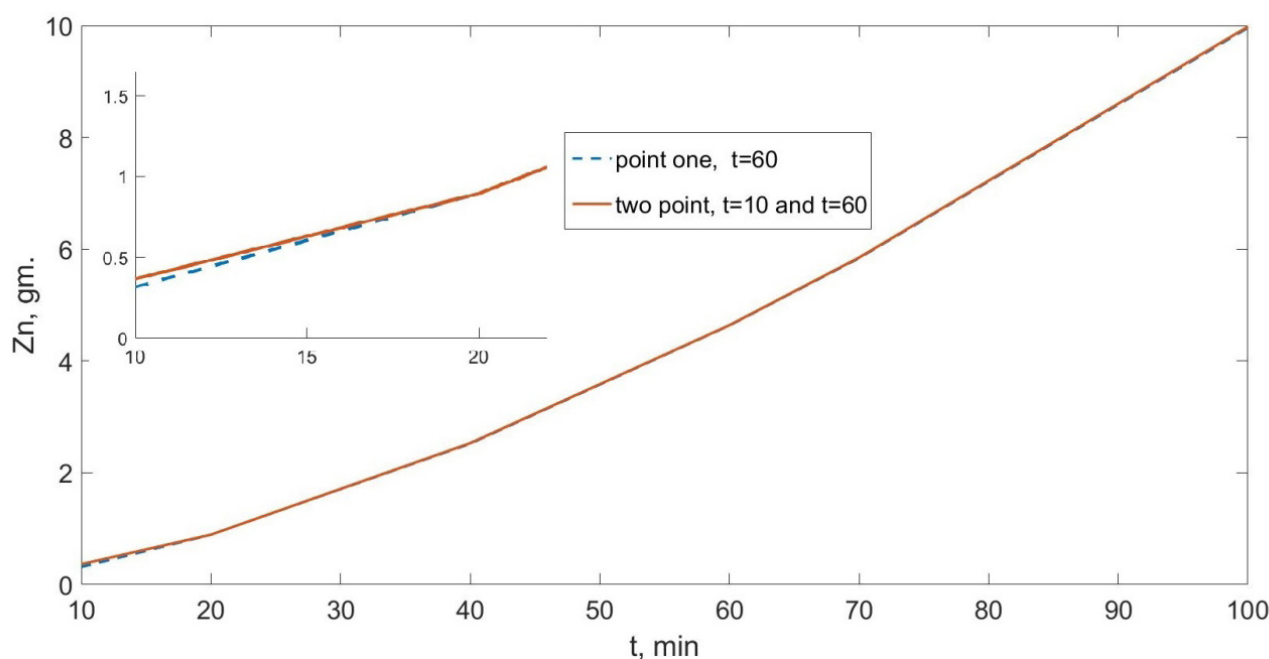
будем иметь $C_{Zn(OH)^{2-}}|_{t=0} \approx 0,153$ моль/л.

При этом 0,153 моль/л цинка связывает всего $\approx 0,306$ моль/л ионов гидроксильной группы, остальные 5,944 моль/л участвуют в реакции диссоциации $NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$, таким образом, $C_{OH^-}|_{t=0} \approx 5,944$ моль/л.

Напрямую начальная концентрация гидроксильного иона не участвует в выделенных нами прикатодных стадийных реакциях, но ионное произведение воды показывает, что при обычных условиях и $C_{H^+}|_{t=0} \approx 0,168 \cdot 10^{-14}$ моль/л. Цинк связан гидроксидной группой, и значение ионной концентрации возьмем близким к «нулю», с учетом того, что осаждение металлов происходит вокруг зародышей, электрохимические процессы стадии образования

Таблица 1. Диапазоны получаемой экспериментальной массы Zn и расчетных значений при силе тока в 500 А по экспериментальным данным в $t = 1$ час.

T, min	Диапазон экспериментальных данных [16]	Расчетные значения
10	0.4371-0.46	0.315
20	1.22-1.38	0.893
40	2.765-2.928	2.58
60	4.514-4.638	4.635
70	5.508-5.693	5.84
100	8.13-8.54	9.1

**Рисунок 1.** Расхождение результатов расчетов в зависимости от количества выбранных точек.

зародышей (адатомов) отличаются от стадии их роста, которая нас фактически и интересует $C_{Zn^{2+}}|_{t=0} \approx 0$, концентрация же атомов цинка взята равной «нулю» $C_{Zn}|_{t=0} = 0$.

Концентрацию воды возьмем

$$C_{H_2O}|_{t=0} \approx 750 \frac{\text{грамм}}{\text{л}} : 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \approx 41,7 \text{ моль/л},$$

при обычных условиях в воде содержится $C_{H_2} / t=0 \approx 4,29 \cdot 10^{-7}$ Ммоль/л, далее возьмем $C_H|_{t=0} \approx 0$, с учетом необходимого наличия зародышей.

В работе [16] показаны экспериментальные данные по выходу цинка в %, рассчитанных по приведенной в ней следующей формуле:

$$n_{Zn} = \frac{m_i - m_0}{1.22 \times I \times t} \times 100 \%,$$

где m_0 – первоначальная масса катода в г, m_i – масса катода с осадившим на нем цинком в i -й момент времени, показатели

снимались через каждые 10 минут, I – сила тока в А, а $t = 10 \cdot i / 60$. Так как в статье [16] не приведены данные по выходу водорода, то будем строить функционал только по известной массе осадившего цинка.

Результаты расчетов верифицировались путем сравнения с экспериментальными данными работы [16], результаты сравнения приведены в таблице 1. Расчеты показали наибольшее расхождение в начале процесса электролиза. Из этого можно заключить, что фаза образования зародышей оказывает влияние на начальной стадии, и с разрастанием кристаллов цинка ее влияние уменьшается. Таким образом, на начальной стадии разрастания кристаллов цинка водород выделяется как на электроде, так и на поверхности кристаллов цинка, что делает поверхность сильно неоднородной. И, соответственно, более точную информацию по развитию начальной стадии можно было бы получить при учете данных о выходе водорода.

Также было проведено исследование влияния количества взятых точек и показано, что оно не оказывает решающего влияния на погрешность. В работе [15] этот вопрос исследовался для процессов выделения вещества в газовой фазе, когда применялось приближение неизменности и однородности площади электрода. Процесс отложения цинкового осадка на электрод показан на рисунке (1). На нем приведено сравнение рассчитываемых данных при силе тока 500А в двух случаях: расчеты приводились по одной точке $t = 1$ час, и по двум точкам ($t = 1$ час и $t = 10$ мин).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В работе представлен численный алгоритм нахождения констант скоростей гетерогенных процессов для последующего их исследования. Данный алгоритм верифицирован на задаче прогнозирования выделения цинка при параллельной реакции выхода водорода. Алгоритм расчетов верифицирован на экспериментальных данных по массе осажденного цинка, и показал хорошее согласие с экспериментальными данными. Расчеты показали, что на начальной стадии большое влияние имеет стадия разрастания зародышей и, соответственно, происходит различие в скорости образования водорода на поверхности стали, из которой сделан электрод, и поверхности кристалла цинка. В дальнейшем для развития модели представляет интерес исследование фазы появления зародышей (анатомов) и включение наиболее влияющих процессов зародышеобразования в математическую модель.

Так как константы скоростей зависят от факторов, свойственных непосредственно исследуемым системам, таких как неоднородность и шероховатость поверхности электрода, коэффициент переноса заряженных частиц, концентрации электролита, то представляется нецелесообразной верификация алгоритма путем сравнения скоростей процессов, определенных для других систем. При этом найденные константы скоростей могут быть использованы для расчетов по моделям большей размерности при вычислении пространственных характеристик электротехнической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манаков, Д. А. Актуальные вопросы защиты от коррозии / Д. А. Манаков, О. В. Немыкина. – Текст: непосредственный // Молодежный вестник ИргТУ. – 2019. – Т. 9, № 2. – С. 88–91.
2. Проскуркин, Е. В. Цинковые покрытия – основные современные системы защиты труб от коррозии /

- Е. В. Проскуркин, В. А. Геловани, А. Н. Сонк, И. В. Петров, И. П. Ярема, Д. А. Сухомлин. – Текст: непосредственный // Сталь. – 2018. – № 6. – С. 32–37.
3. Юдин, В. М. Исследование электролитического цинкования при высоких плотностях тока / В. М. Юдин, М. Н. Вихарев. – Текст: непосредственный // Труды ГОСНИТИ. – 2008. – Т. 102. – С. 162–164.
4. Польшин, В. И. Цинк для защиты от коррозии / В. И. Польшин. – Текст: непосредственный // Гидротехника. – 2019. – № 1 (54). – С. 86–89.
5. Захаров, Ю. А. Совершенствование технологического процесса гальванического цинкования деталей транспортно-технологических машин и комплексов / Ю. А. Захаров, И. А. Спицын, Е. В. Ремзин, Г. А. Мусатов. – Текст: непосредственный // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2014. – № 4 (12). – С. 105–111.
6. Бурляев, Д. В. Цинк-никелевые сплавные покрытия: кинетика электроосаждения, коррозия и селективное растворение. Обзор / Д. В. Бурляев, О. А. Козадеров, П. Волович. – Текст: непосредственный // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2021. – Т. 23(1). – С. 3–15.
7. Dutra, C. A. M. Corrosion Resistance of Zn and Zn-Ni Electrodeposits: Morphological Characterization and Phases Identification/ Conceição A. M. Dutra, José W. J. Silva, Roberto Z. Nakazato // Materials Sciences and Applications, – 2013. – vol. 4. – P. 644–648
8. Захаров, Ю. А. Выбор, контроль и корректировка электролита цинкования восстанавливаемых поверхностей деталей автомобилей / Ю. А. Захаров, Г. А. Мусатов. – Текст: электронный // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 2. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2861 (дата обращения: 08.08.2021).
9. Петров, В. В. Технология переработки отходов твердосплавного инструмента / В. В. Петров, А. Е. Проценко, К. Р. Сапожник. – Текст: непосредственный // Строительные материалы и изделия. – 2022 – Т. 5, № 3. – С. 27–34.
10. Zhang, Y. Leaching of zinc from calcined smithsonite using sodium hydroxide / Yucheng Zhang, Jinxia Deng, Jun Chen, Pando Yu, Xianran Xing // Hydrometallurgy. – 2013. – vol. 131. – P. 89–92.
11. Brenner, A. Electrodeposition of alloys principles and practice / Brenner A. – New York: Academic Press, 1963, – vol. 1. – 402 p.
12. Abdel-Aal, E. A. Kinetics of sulfuric acid leaching of low-grade zinc silicate ore / E. A. Abdel-Aal // Hydrometallurgy. – 2000. – Vol. 55. – P. 247–254.
13. Leung, P. K. Zinc deposition and dissolution in methanesulfonic acid onto a carbon composite electrode as the negative electrode reactions in a hybrid redox flow battery / P. K. Leung, C. Ponce-De-León, C. T. J. Low, F. C. Walsh, // Electrochimica Acta. – 2011. – vol. 56(18). – P. 6536–6546.
14. Gürmen, S. laboratory-scale investigation of alkaline zinc electrowinning/ S. Gürmen, M. A. Emre//Minerals

Engineering. – 2003 – Vol. 16(6). – P. 559–562.

15. Кашапов, Р. Н. Кинетика двухфазных газожидкостных сред в процессах электролиза / Р. Н. Кашапов, Л. Н. Кашапов, Н. Ф. Кашапов, В. Ю. Чебакова. – Текст: непосредственный // Теплофизика высоких температур. – 2021. – Т. 59, № 6. – С. 869–876.
16. Zhang, Y. The Electrowinning of Zinc from Sodium Hydroxide Solutions/ Yucheng Zhang, Jinxia Deng, Jun Chen, Pando Yu, Xianran Xing. //Hydrometallurgy. – 2014. – vol. 146. – P. 59–63.



ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОСТОЙ ВЛОЖЕННОЙ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ С ЛИНЕЙНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

Носков Сергей Иванович

доктор технических наук, профессор,
Иркутский государственный
университет путей сообщения,
Иркутск, Россия

Предмет исследования: задача оценивания параметров простой вложенной кусочно-линейной регрессии с линейной составляющей.

Цель исследования: применить эффективный аппарат линейно-булевого программирования для решения этой задачи.

Методы и объекты исследования: объектом исследования является минимизация ошибок аппроксимации простой вложенной кусочно-линейной регрессии с линейной составляющей, методами – линейный регрессионный анализ и аппарат математического программирования.

Основные результаты исследования: описан подход к определению оценок параметров простой вложенной кусочно-линейной регрессии с линейной составляющей посредством применения метода наименьших модулей, что позволяет свести эту задачу к задаче линейно-булевого программирования. Решен численный пример.

Ключевые слова: простая вложенная кусочно-линейная регрессия с линейной составляющей, метод наименьших модулей, функция потерь, задача линейно-булевого программирования, подвыборка.

ESTIMATING THE PARAMETERS OF SIMPLE NESTED PIECEWISE-LINEAR REGRESSION WITH A LINEAR COMPONENT

Sergey I. Noskov

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Irkutsk State Transport University,
Irkutsk, Russia

Subject of research: the problem of estimating the parameters of a simple nested piecewise linear regression with a linear component.

Purpose of research: to apply an effective linear-Boolean programming apparatus to solve this problem.

Methods and objects of research: the object of research is the minimization of approximation errors of simple nested piecewise linear regression with a linear component, methods – linear regression analysis and mathematical programming apparatus.

Main results of research: an approach to determining parameter estimates for simple nested piecewise linear regression with a linear component is described using the least modulus method, which allows us to reduce this problem to a linear-Boolean programming problem. A numerical example has been solved.

Keywords: simple nested piecewise linear regression with a linear component, least absolute deviation method, loss function, linear-Boolean programming problem, subsampling.

ВВЕДЕНИЕ

При построении регрессионной модели исследуемого объекта характер его функционирования может вызвать необходимость в использовании не какой-либо одной модельной конструкции, а некоей составной, комбинированной ее формы. Так, в работе [1] разработана многовариантная регрессионная модель прогнозирования профиля водной поверхности для различных сложных русел с непризматической поймой. Модели нелинейной регрессии разработаны с использованием соответствующих экспериментальных данных, полученных в ходе лабораторных экспериментов. Было проведено три серии экспериментов для выявления берегового стока в сходящихся поймах. В [2] разнородные регрессионные модели используются для изучения связи между индексом абразивности в горнодобывающей промышленности и гражданском строительстве и химическими соединениями и петрографическими свойствами андезитовых пород центральной части Эквадора. Статья [3] посвящена исследованию общей модели непараметрической регрессии, называемой также составной моделью. В качестве особых случаев она включает в

себя разреженную аддитивную регрессию и непараметрическую (или линейную) регрессию со многими ковариатами, но, возможно, с небольшим количеством соответствующих ковариат. Составная модель характеризуется тремя основными параметрами: параметром структуры, описывающим «макроскопическую» форму составной функции, параметром «микроскопической» разреженности, указывающим максимальное количество соответствующих ковариат в каждом компоненте, и обычным параметром гладкости, соответствующим сложности сочленения. При этом определяется неасимптотическая минимаксная скорость сходимости оценок в такой модели, как функция этих трех параметров. Показано, что эта скорость может быть достигнута адаптивным путем. В работе [4] предлагается иерархическая, или многоуровневая, версия регрессионных моделей со структурированным аддитивным предиктором, в которой коэффициенты регрессии конкретной нелинейной составляющей могут зависеть от другой модели регрессии со структурированным аддитивным предиктором. В этом смысле модель состоит из иерархии сложных структурированных моделей аддитивной регрессии. Предложенную модель можно рассматривать



как расширенную версию многоуровневой модели с нелинейными ковариатными членами на каждом уровне иерархии. Структура модели также является основой для обобщенного моделирования случайных наклонов, основанного на мультипликативных случайных эффектах. Вывод является полностью байесовским и основан на методах моделирования цепей Маркова. Дается подробное описание нескольких высокоэффективных схем формирования выборки, которые позволяют оценить сложные модели с несколькими уровнями иерархии и большим количеством наблюдений за малое время. В [5] предлагается новая модель нейронной сети ансамблевой свертки на основе регрессии для определения чувствительности лекарств на основе множественных фармацевтических данных и устранения гетерогенности при выборе характеристик для субфармакогеномных параметров. Сеть свертки ансамбля описывает значимость метрик, связанных с т. н. соседскими зависимостями, связанными с отношениями лекарственной терапии. В работе [6] рассматривается новая модель квантильной регрессии, объединяющая несколько наборов несмещенных уравнений. Этот подход может учитывать корреляции между повторными измерениями и давать более эффективные оценки. Поскольку целевая функция является дискретной и невыпуклой, предлагается индуцированное сглаживание для быстрого и точного вычисления оценок параметров, а также их асимптотической ковариации, используя метод Ньютона-Рафсона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В работе [7] введены вложенные кусочно-линейные регрессионные модели двух типов:

$$y_k = \min\{\min_{i \in I^I} \{\alpha_i^I x_{ki}\}, \dots, \min_{i \in I^G} \{\alpha_i^G x_{ki}\}, \\ \max_{i \in I^I} \{\beta_i^I x_{ki}\}, \dots, \max_{i \in I^H} \{\beta_i^H x_{ki}\}\} + \varepsilon_k, k = \overline{1, n}$$

и

$$y_k = \max\{\min_{i \in I^I} \{\alpha_i^I x_{ki}\}, \dots, \max_{i \in I^G} \{\alpha_i^G x_{ki}\}, \\ \max_{i \in I^I} \{\beta_i^I x_{ki}\}, \dots, \max_{i \in I^H} \{\beta_i^H x_{ki}\}\} + \varepsilon_k, k = \overline{1, n}.$$

Здесь y – зависимая, а x_i – i -ая независимая переменные, k – номер наблюдения, n – длина выборки, индексные множества $I^I, i = \overline{1, G}, I^G, i = \overline{1, H}$ являются подмножествами исходного множества номеров независимых переменных $\{1, 2, \dots, m\}$ и могут иметь непустые попарные пересечения, α_i^j, β_i^j – подлежащие оценке параметры.

В работе [8] решена задача идентификации с помощью метода наименьших модулей (МНМ) параметров простой формы вложенной кусочно-линейной модели:

$$y_k = \min\{\min_{i \in I^I} \{\alpha_i^I x_{ki}\}, \max_{i \in I^G} \{\beta_i^G x_{ki}\}\} + \varepsilon_k, |k = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Эта задача сводится к следующей задаче линейно-булевого программирования (ЛБП):

$$h_k \leq \alpha_i x_{ki}, k = \overline{1, n}, i \in I, \quad (2)$$

$$\alpha_i x_{ki} - h_k \leq (1 - s_{ki})M, k = \overline{1, n}, i \in I, \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} s_{ki} = 1, k = \overline{1, n}, \quad (4)$$

$$g_k \geq \beta_i x_{ki}, k = \overline{1, n}, i \in J, \quad (5)$$

$$\beta_i x_{ki} - g_k \geq (p_{ki} - 1)M, k = \overline{1, n}, i \in J, \quad (6)$$

$$\sum_{i \in J} p_{ki} = 1, k = \overline{1, n}, \quad (7)$$

$$t_k \leq h_k, k = \overline{1, n}, \quad (8)$$

$$t_k \leq g_k, k = \overline{1, n}, \quad (9)$$

$$h_k - t_k + Mr_k \leq M, k = \overline{1, n}, \quad (10)$$

$$g_k - t_k - Mr_k \leq 0, k = \overline{1, n}, \quad (11)$$

$$t_k + u_k - v_k = y_k, k = \overline{1, n}, \quad (12)$$

$$u_k \geq 0, v_k \geq 0, h_k \geq 0, g_k \geq 0, t_k \geq 0, k = \overline{1, n}, \quad (13)$$

$$s_{ki} \in \{0, 1\}, k = \overline{1, n}, i \in I, \quad (14)$$

$$p_{ki} \in \{0, 1\}, k = \overline{1, n}, i \in J, \quad (15)$$

$$r_k \in \{0, 1\}, k = \overline{1, n}, \quad (16)$$

$$\sum_{k=1}^n (u_k + v_k) \rightarrow \min. \quad (17)$$

По аналогии с рассмотренной в работе [9] комбинированной кусочно-линейной моделью введем в рассмотрение некоторое расширение модели (1) – простую вложенную кусочно-линейную регрессию с линейной составляющей:

$$y_k = \sum_{i \in D} d_i x_{ki} + \min\{\min_{i \in I^I} \{\alpha_i^I x_{ki}\}, \\ \max_{i \in I^G} \{\beta_i^G x_{ki}\}\} + \varepsilon_k, |k = \overline{1, n}. \quad (18)$$

Поставим задачу оценивания параметров модели (18) также с помощью МНМ, т. е. посредством минимизации функции потерь (суммы модулей ошибок аппроксимации):

$$\sum_{k=1}^n |\varepsilon_k| \rightarrow \min. \quad (19)$$

Это может быть сделано путем соответствующей корректировки задачи ЛБП (2)–(17). Действительно, изменим ограничения (12) следующим образом:

$$\sum_{i \in D} d_i x_{ki} + t_k + u_k - v_k = y_k, k = \overline{1, n}. \quad (20)$$

Скорректируем также целевую функцию (17) с тем, чтобы исключить множественность решений задачи (19), воспользовавшись приемом, описанным в [10]:

$$\sum_{k=1}^n (u_k + v_k) + \delta \sum_{i \in I^I} \gamma_i \alpha_i - \delta \sum_{i \in I^G} \gamma_i \beta_i \rightarrow \min. \quad (21)$$

Здесь δ – малая положительная константа, а числа γ_i отражают масштаб независимых переменных, например, следующим образом:

$$\gamma_i = \frac{1}{\max_{k=\overline{1,n}} X_{ki}}, \quad i = \overline{1,m}$$

Таким образом, решение задачи (19) сводится к решению задачи ЛБП (2)–(11), (20), (13)–(16), (21).

Рассмотрим численный пример, скорректировав исходные данные из [9] путем изменения значений зависимой переменной:

$$X = \begin{pmatrix} 243 \\ 719 \\ 658 \\ 384 \end{pmatrix}, y = \begin{pmatrix} 2 \\ 8 \\ 3 \\ 7 \end{pmatrix}.$$

Поставим задачу оценивания параметров простой вложенной кусочно-линейной регрессии с линейной составляющей:

$$y_k = d_0 + d_1 x_{k1} + \min\{\min_{i \in I} \{\alpha_i x_{ki}\}, \max_{i \in J} \{\beta_i x_{ki}\} + \varepsilon_k, k = \overline{1,4}, \quad (22)$$

где множества I и J имеют вид:

$$I = \{1,2\}, J = \{2,3\}.$$

После решения задачи ЛБП (2)–(11), (20), (13)–(16), (21) получим следующие результаты:

$$\begin{aligned} y_k &= -8 + 0.463 + \\ &\min\{\min\{4.53x_{k1}, 12.7x_{k2}\}, \\ &\max\{2.27x_{k2}, 1.42x_{k3}\}, \\ h &= (9, 12.7, 27, 13.6), \\ g &= (9, 2.3, 11.3, 18), \\ t &= (9, 12.7, 11.3, 13.6), \\ \sum_{k=1}^4 |\varepsilon_k| &= 3.12. \end{aligned}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В работе на основе применения полученных ранее результатов автора описан алгоритмический способ идентификации параметров простой вложенной кусочно-линейной регрессии с линейной составляющей методом наименьших модулей, сводящийся к решению задачи линейно-булевого программирования приемлемой при анализе реальных объектов размерности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Naik B., Khatua K. K. Water Surface Profile Computation for Compound Channels with Narrow Flood Plains // *Arabian Journal for Science and Engineering*. – 2017. – V. 42. – P. 941–955.
2. Torrijo F. J., Garzón-Roca J., Company J., Cobos J. Estimation of Cerchar abrasivity index of andesitic rocks

in Ecuador from chemical compounds and petrographical properties using regression analyses // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. – 2019. – V. 78. – P. 2331–2344.

3. Dalalyan A., Ingster Y., Tsybakov A.B. Statistical inference in compound functional models // *Probability Theory and Related Fields*. – 2014. – V. 158. – P. 513–532.
4. Lang S., Umlauf N., Wechselberger P., Harttgen K., Kneib T. Multilevel structured additive regression // *Statistics and Computing*. – 2014. – V. 24. – P. 223–238.
5. Gadde S., Charkravarthy A. S. N., Satyanarayana S., Murali M. Automatic identification of drug sensitivity of cancer cell with novel regression-based ensemble convolution neural network model // *Soft Computing*. – 2022. – V. 26. – P. 5399–5408.
6. Leng C., Zhang W. Smoothing combined estimating equations in quantile regression for longitudinal data // *Statistics and Computing*. – 2014. – V. 24. – P. 123–136.
7. Носков, С. И. Подход к формализации вложенной кусочно-линейной регрессии / С. И. Носков. – Текст : непосредственный // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. – 2023. – № 1–2 (76). – С. 218–220.
8. Носков, С. И. Идентификация параметров простой формы вложенной кусочно-линейной регрессии. – Текст : непосредственный // *Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета*. – 2023. – № 3 (67). – С. 57–61.
9. Носков, С. И. Идентификация параметров комбинированной кусочно-линейной регрессионной модели / С. И. Носков. – Текст : непосредственный // *Вестник Югорского государственного университета*. – 2022. – № 4 (67). – С. 115–119.
10. Носков, С. И. Уточнение способов идентификации параметров некоторых кусочно-линейных регрессий / С. И. Носков, М. С. Жукова, Т. К. Кириллова, Ю. О. Купитман, А. А. Хоняков. – Текст : непосредственный // *Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ»*. – 2023. – № 2. – С. 75–81.



СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ СЕГМЕНТАЦИИ ОБЛАКОВ И ИХ ТЕНЕЙ НА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ

Соколов Олег Игоревич

Югорский научно-исследовательский институт
информационных технологий
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: sokol.oleg2012@yandex.ru

Предмет исследования: алгоритмы сегментации спутниковых снимков.

Цель исследования: сравнение алгоритмов сегментации облаков и облачных теней.

Методы и объекты исследования: вычисление и сравнение метрик эффективности, размеченные космические снимки (CloudSEN12), алгоритмы Fmask, Kappamask, Sen2cloudless, Ukis-csmask, Mobile-Unet, сегментация облаков миссии Sentinel, классификация сцен Sen2cor, FC-CNN.

Основные результаты исследования: для рассматриваемых алгоритмов вычислены метрики Precision, Recall, Accuracy, F1. Лучший результат продемонстрировал Mobile-Unet с оценкой 0,888 по метрике F1. Новизна полученных результатов заключается в расширении контекста сравнительного анализа предыдущих исследований аналогичного рода: мы добавляем к нему еще один алгоритм (Ukis-csmask).

Ключевые слова: сегментация, облака, тени, машинное обучение, Sentinel-2, CloudSEN12, Mobile-Unet, Fmask, Kappamask, Sen2cor, Sen2cloudless, Ukis-csmask, FC-CNN.

THE COMPARISON OF CLOUD AND SHADOW SEGMENTATION ALGORITHMS ON SATELLITE IMAGES

Oleg I. Sokolov

Ugra Research Institute of Information
Technologies
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: sokol.oleg2012@yandex.ru

Subject of research: the segmentation algorithms of satellite images.

Purpose of research: to compare cloud and cloud shadow segmentation algorithms.

Methods and objects of research: the calculation and comparison of efficiency metrics, labeled space images (CloudSEN12), Fmask, Kappamask, Sen2cloudless, Ukis-csmask, Mobile-Unet algorithms, Sentinel mission cloud segmentation, Sen2cor scene classification, FC-CNN.

Main results of research: the Precision, Recall, Accuracy, F1 metrics have been calculated for the algorithms under consideration. The best result was demonstrated by Mobile-Unet with a score of 0.888 on the F1 metric. The novelty of the obtained results lies in expanding the context of comparative analysis of previous similar studies: we add another algorithm to it (Ukis-csmask).

Keywords: segmentation, clouds, shadows, machine learning, Sentinel-2, CloudSEN12, Mobile-Unet, Fmask, Kappamask, Sen2cor, Sen2cloudless, Ukis-csmask, FC-CNN.

ВВЕДЕНИЕ

Ввиду существенного негативного влияния облаков и их теней на анализ данных есть смысл организовать этап определения таких областей с целью учитывать их в дальнейшем. Такой предобработкой мы сможем абстрагироваться от отвлекающих факторов, и при решении задачи сегментации дать возможность алгоритмам просматривать значимые для него области кадров.

Приведем конкретный пример: разработка автоматизированной системы сегментации лесных рубок. В процессе апробации реализованного решения обнаруживаем, что некоторые фрагменты облаков и их теней по ошибке распознаются системой как рубки. С целью предотвращения ложных срабатываний приходим к следующему решению: применяем алгоритм сегментации облаков и их теней, удаляем выявленные пиксели изображения из рассмотрения. На таком изображении не будет облаков и, следовательно, количество ложноположительных срабатываний будет значительно ниже. Тем самым получаем выигрыш в качестве распознавания – в этом и заключается актуальность проведения такого рода сегментации. Конечно, в теории можно разработать такую систему распознавания,

которая изначально работает с облачными снимками без проблем, не путая наземные объекты с облаками. Тогда отпадает необходимость в перечисленных выше преобразованиях. Но далеко не всегда это возможно на практике ввиду трудности с точки зрения реализации.

Рассмотрим причину рассмотрения теней от облаков для задачи сегментации изображений. Облака не пропускают весь свет через себя, как следствие – на земной поверхности образуется тень, и чем облако плотнее, тем эта тень более темная. Такие области на снимке также могут привести к проблемам анализа земной поверхности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проблемы алгоритмов рассматриваемого типа

Для общего понимания предметной области требуется сформировать представления о трудностях, возникающих в процессе сегментации облаков и их теней. Бывают слишком «осторожные» и слишком «неосторожные» алгоритмы. В первом случае имеем ситуацию, когда алгоритм не путает облако с чем-либо другим: если он разметил облако на снимке – значит, может быть уверен, что



это в самом деле оно. Но есть проблема: он сегментирует облака не до конца, пропуская большое их количество. Во втором случае алгоритм выделяет все облака, однако вдобавок он распознает в качестве облака или тени еще и то, что к таковым не относится. Возникают другие случаи, которые однозначно не относятся к первым двум: когда сегментация была произведена неадекватно в принципе. Причиной таких проблем может являться то, что ситуация на снимке оказалась слишком нестандартной, и рассматриваемый алгоритм не был к ней приспособлен.

Неопределенности добавляет и следующее: можем ли мы идентифицировать полупрозрачные облака низкой плотности в качестве таковых? Условно можно сказать: то или иное облако имеет некий процент прозрачности. Есть возможность задать некоторый порог и задать правило такого вида: если конкретное облако имеет на снимке процент прозрачности больше порога, то тогда считаем его облаком. Иначе – считаем, что это нечто иное. Определение порога прозрачности требует использования экспериментальных данных, и формализация этой задачи может быть предметом отдельного исследования.

Отдельно отметим проблему, характерную для регионов планеты с холодным климатом: бывает трудно различить облака на фоне заснеженной поверхности. Они могут на снимке слиться воедино: как следствие, облака можно по ошибке распознать как снег и наоборот. Существуют алгоритмы, которые справляются с такой задачей достаточно качественно (в качестве примера можно привести Fmask 4.0 [1]), однако могут быть и те, которые не приспособлены для ее решения, либо приспособлены недостаточно хорошо.

Обзор аналогичных исследований

Обширная работа по рассматриваемой тематике отражена в [2]. В данной статье приводится сравнительный анализ большого количества алгоритмов сегментации облаков и их теней, апробация которых производится на множестве наборов данных. Среди работ данного типа следует отметить также [3]. Здесь производят собственный набор данных (с указанием процесса его построения) и проводят по нему эксперименты: его используют для вычисления метрик эффективности алгоритмов рассматриваемого нами типа. Приводится достаточно большое количество таких алгоритмов. Отметим статью [4]. Отличительной особенностью этой работы по отношению к остальным – здесь приводится сравнительный анализ конкретно на снимках Sentinel-2. Здесь рассматривается пять алгоритмов, апробация которых выполняется

на спутниковых снимках Африки и Западной Европы.

Следует отметить: в представленных выше работах [2] и [3] приведенный список метрик можно расширить (например, добавить F-меру). В этих же работах список алгоритмов, подлежащих оценке и сравнению, также не является исчерпывающим: целесообразно ввести в рассмотрение и другие. В работе [4] рассматривается лишь часть планеты, северные широты – вне рассмотрения. Для большей полноты картины есть смысл опробовать алгоритмы и на северных широтах.

Постановка задачи

Конкретизируем цель, преследуемую нами в рамках выполнения данной работы, посредством разделения на следующие задачи:

1. дать характеристику набору данных, на основе которого в дальнейшем будем считать метрики;
2. дать характеристику рассматриваемым алгоритмам сегментации облаков и их теней; привести метрики эффективности для каждого включенного в рассмотрение алгоритма (используемые метрики определены в соответствующем разделе данной работы);
3. подвести итоги на основании полученных метрик.

Набор данных

В нашем исследовании мы используем набор данных CloudSEN12 [3]. В нем собраны фрагменты снимков размером 509 на 509 пикселей, произведенных спутником Sentinel-2 [5], с размеченными облаками и их тенями. Для большей наглядности представим размеченный фрагмент с идентификатором «20181219T133221_20181219T133216_T23MMR» (рисунок 1). Здесь отображен непосредственно сам снимок (а) и разметка (б) – облака обозначены серым цветом, тени – белым.

Каждый такой фрагмент относится к той или иной области земного шара. Всего в наборе данных имеется 9880 таких областей, среди которых:

- 2000 областей с разметкой высокого качества (в них содержится в общей совокупности 10 000 фрагментов);
- 2000 областей с разметкой низкого качества (10 000 фрагментов);
- 5880 областей без разметки (29 400 фрагментов).

Оставим вне рассмотрения те фрагменты, которые имеют разметку низкого качества: посчитать метрики должным образом по ним

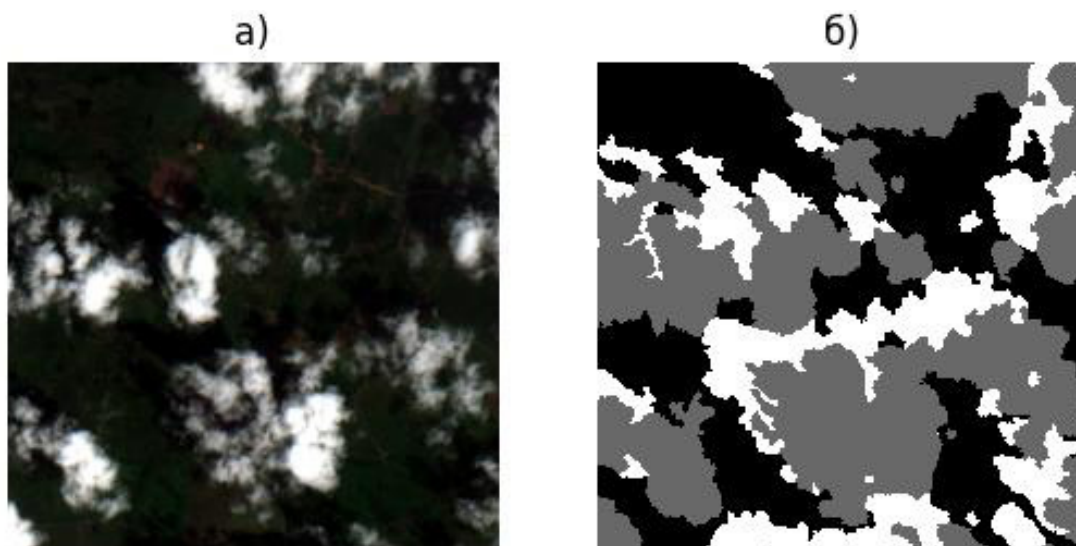


Рисунок 1. Фрагмент снимка Sentinel-2 (слева) и файл разметки (справа).

не удастся. Также отбросим и неразмеченные, исходя из тех же принципов. Итого далее в нашем рассмотрении остается 10 000 изображений. Среди них имеются 2001 безоблачных фрагментов (идентификатор такой группы в рамках набора данных: cloud-free), 1999 – практически безоблачных (almost-clear), 2000 – с низкой облачностью (low-cloudy), 2000 – со средней облачностью (mid-cloudy) и 2000 – облачных (cloudy). Можем констатировать: набор данных практически идеально сбалансирован по данным категориям.

Помимо характеристик облачности, следует также принять во внимание и географические характеристики рассматриваемых фрагментов (рисунок 2). Красными

точками на карте отображены области съемки. Наблюдаем, что они распределены по земной поверхности более-менее равномерно (за исключением Гренландии, Южной Африки и Антарктиды): в наборе данных представлено множество регионов планеты. Так что с точки зрения географического распределения набор данных также вполне сбалансирован. Здесь присутствуют как южные и средние широты, так и северные.

Рассматриваемые алгоритмы

В этом же наборе данных, помимо размеченных фрагментов, поставляются в комплект также и результаты выполнения некоторых алгоритмов: мы намереваемся ими

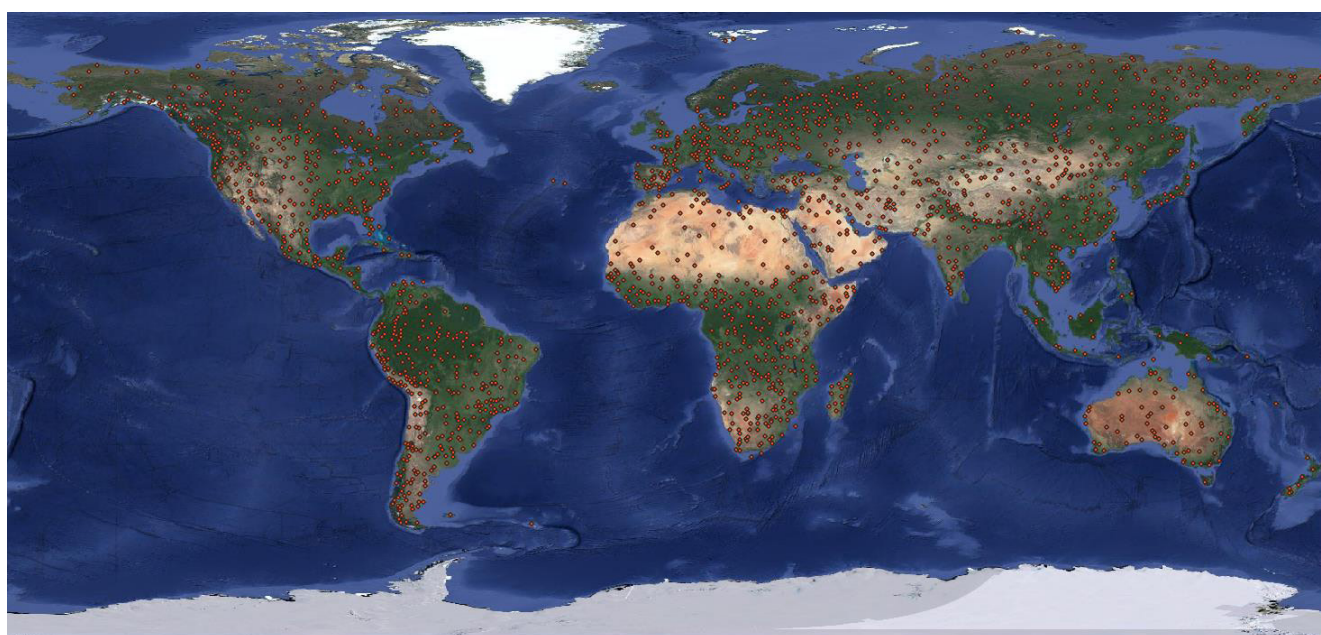


Рисунок 2. Распределение областей с фрагментами, имеющими разметку высокого качества (CloudSEN12).

воспользоваться для вычисления метрик в нашей работе.

Здесь представлен алгоритм сегментации облаков миссии Sentinel (в рассматриваемом датасете эта маска содержится в файле «qa60.tif») [6]. Посредством данного алгоритма осуществляется сегментация перистых (cirrus) и плотных облаков (opaque clouds), однако тени им не обнаруживаются. Для вычисления используются: синий диапазон (B1 или B2), диапазон B10 и коротковолновый инфракрасный диапазон (B11 или B12). Сгенерированная данным алгоритмом маска лежит в файлах снимка Sentinel-2.

В наличии также алгоритм сегментации облаков s2cloudless для снимков со спутника Sentinel-2, разработанный исследовательской командой Sentinel Hub. Базируется на градиентном бустинге (gradient boosting) – методе машинного обучения. Программная реализация вместе с описательной характеристикой представлена в [7]. Вычисление выполняется на основе диапазонов B01, B02, B04, B05, B08, B8A, B09, B10, B11, B12. В файле «s2cloudless.tif» имеем маску следующего содержания: в каждом ее пикселе содержится вероятность того, относится ли он к облаку или нет. Непосредственно ее использовать для вычисления метрик нецелесообразно – алгоритм имеет опцию преобразовать карту вероятностей в карту классов (имеются два – «облако» и «не-облако»); ее мы применим в нашей работе.

Также есть в наличии результаты выполнения алгоритма Fmask 4.0 [1]. Посредством него осуществляется сегментация облаков и их теней для снимков спутников Landsats 4-8 и Sentinel-2. Вдобавок он также проводит сегментацию водной и снежной поверхностей. Реализация осуществляется посредством методов машинного обучения. Во внимание берутся правила и статистические данные, полученные на основе физических характеристик облаков и их теней.

Программное обеспечение sen2cor [8] предназначено для атмосферной коррекции, которая в данной работе не рассматривается: нас здесь интересует другой момент. Чтобы осуществить атмосферную коррекцию, алгоритм предварительно осуществляет сегментацию снимка по следующим классам: растительность (Vegetation), почва (Bare Soils), вода (Water), снег (Snow), облако со средней вероятностью (Cloud medium probability), облако с высокой вероятностью (Cloud high probability), тонкое перистое облако (Thin cirrus) и облачная тень (Cloud shadows). Эти результаты сохраняются в виде отдельного файла-маски, которая в наличии у рассматриваемого нами набора данных.

Kappamask является алгоритмом, основанным на искусственном интеллекте [9]. Модель основана на полносвязной сверточной нейронной сети (CNN-based model) с использованием методологии активного обучения (active learning). Сегментация выполняется по классам: «clear», «cloud shadow» (тень от облака), «semi-transparent cloud» (полупрозрачное облако), «cloud» (облако) и «missing» (дефектные пиксели или те, которые не содержали данных). В датасете представлены два варианта отработки алгоритма: результаты по снимку уровня Level-1C (представлен в файле «kappamask_L1C.tif») и отдельно – по Level-2A («kappamask_L2A.tif»).

Представлены и другие алгоритмы, построенные на основе сверточной полносвязной нейронной сети, результаты которых содержатся в файлах «CD-FCNN-RGBI.tif» и «CD-FCNN-RGBISWIR.tif». Здесь используется архитектура U-net [10]. На выходе имеем маску вероятностей облачности (вместо однозначного отношения к классу). Значения этой маски распределены от 1 до 10000. Поиск теней от облаков здесь не осуществлен.

Рассматриваемые задачи также были решены посредством применения сверточной нейронной сети Mobile-Unet [11]. Отмечается: ее преимущество заключается в скорости, что дает возможность решать задачи в реальном времени. Результаты сегментации напрямую в датасете в виде готовых масок не содержатся, однако с датасетом поставляется программная библиотека, в которой содержится уже обученная модель Mobile-Unet, готовая для использования [12]: мы ее применим в нашей работе для вычисления метрик.

Дополним выше представленный список посредством введения в рассмотрение алгоритма ukis-csmask [13], также основанного на U-net. На вход подаются следующие диапазоны: «Blue», «Green», «Red», «NIR», «SWIR1», «SWIR2». Сегментируются как облака (без разделения на непрозрачные или полупрозрачные), так и их тени. Будем использовать программную реализацию, представленную в [14].

Методология проведения оценок

Будем использовать Precision, Recall, Accuracy, F1 с макро-усреднением (Macro-Averaging). Общая его идея заключается в том, что эти метрики считаются как для одного, так и для обратного класса (в качестве примера можно привести класс «облако» и обратные ему класс «не-облако») с последующим усреднением. Далее определим проведение оценок по облачности. Формула для вычисления F1 имеет вид:

Таблица 1. Метрики по сегментации облаков.

Алгоритм	Precision	Recall	Accuracy	F1
qa60	0.680	0.675	0.782	0.631
Fmask	0.824	0.796	0.865	0.774
Kappamask_L1C	0.804	0.761	0.854	0.744
Kappamask_L2A	0.738	0.691	0.786	0.656
sen2cor	0.777	0.731	0.828	0.703
sen2cloudless	0.817	0.773	0.863	0.756
FC-CNN-RGBI	0.771	0.736	0.806	0.696
FC-CNN- RGBISWIR	0.786	0.749	0.817	0.709
Mobile-Unet	0.917	0.890	0.940	0.888
ukis-csmask	0.803	0.785	0.838	0.753

$$F1 = \frac{F1_{cloud} + F1_{non-cloud}}{exists_{cloud} + exists_{non-cloud}}, \quad (1)$$

где $F1_{cloud}$ – метрика F1, вычисленная для класса «облако»,

$F1_{non-cloud}$ – метрика F1, вычисленная для класса «не-облако»,

$exists_{cloud} = 1$, если в данной паре масок «ожидаемое» – «предсказанное» имеется как минимум один пиксель, относящийся к классу «облако», иначе – данное значение нулевое.

$exists_{non-cloud} = 1$, если в данной паре масок «ожидаемое» – «предсказанное» имеется как минимум один пиксель, относящийся к классу «не-облако», иначе – данное значение нулевое.

Формулы для метрик Precision, Recall, Accurasy строим по аналогичному принципу. Требуется задать следующее:

Precision_{cloud} и Precision_{non-cloud}

Recall_{cloud} и Recall_{non-cloud}

Accuracy_{cloud} и Accuracy_{non-cloud}

Дадим для выше представленных значений определения

$$Precision_a = \frac{TP_a}{TP_a + FP_a}, \quad (2)$$

$$Recall_a = \frac{TP_a}{TP_a + FN_a}, \quad (3)$$

$$Accuracy_a = \frac{TP_a + TN_a}{TP_a + TN_a + FP_a + FN_a}, \quad (4)$$

$$F1_a = \frac{2 * Precision_a * Recall_a}{Precision_a + Recall_a}, \quad (5)$$

где a – класс, для которого строится соответствующее значение.

Аналогично вычисляем метрики по теням. Имеем те же самые формулы за исключением следующего: меняем «cloud» на «shadow», «non-cloud» – на «non-shadow».

Если тот или иной алгоритм сегментирует на несколько классов облачности («полупрозрачное облако», «перистое облако», «непрозрачное облако»), – все объединяем и считаем это одним классом «облако» для удобства вычисления метрик. В самой разметке («manual_hq.tif») выделяются также непрозрачные и полупрозрачные облака, – с ней производим аналогичные действия.

Алгоритмы FC-CNN-RGBI и FC-CNN-SWIR в своем роде кардинально отличаются от остальных: у них нет разметки по классам, маска заполнена значениями от 1 до 10000. Таким образом, здесь по факту представлено 10 000 классов: нет возможности адекватно посчитать метрики непосредственно по этим данным. Стоит задача отображения данного диапазона в диапазон двух значений: 0 («не-облако») и 1 («облако»). Для этого следует подобрать некоторый порог. Подбор порога – задача, требующая отдельного исследования. Возьмем для наших последующих вычислений значение порога в 5000.

Для алгоритмов FC-CNN-RGBI, FC-CNN-RGBISWIR, Fmask, qa60, sen2cloudless, Mobile-Unet, sen2cor было принято решение добавить постобработку следующего вида: если алгоритм обнаружил на снимке облака площадью менее 1 % от площади всего снимка, то игнорируем этот результат. Считаем, что алгоритм не нашел здесь облаков: установлено экспериментально, что данная мера немного увеличивает значения метрик (например, по Mobile-Unet поднялась метрика F1 на 0,9 % по

Таблица 2. Метрики по сегментации облачных теней.

Алгоритм	Precision	Recall	Accuracy	F1
Fmask	0,764	0,747	0,913	0,743
Kappamask_L1C	0.732	0.694	0.928	0.688
Kappamask_L2A	0.767	0.687	0.921	0.687
sen2cor	0.723	0.693	0.922	0.686
Mobile-Unet	0.889	0.870	0.963	0.871
ukis-csmask	0.740	0.687	0.923	0.685

облачности, а на 2,3 % – поднялась та же оценка по теням. Аналогичным образом поступаем с сегментацией теней.

Результаты оценки моделей

Результаты вычисления метрик по облакам представлены в таблице 1. Для каждого алгоритма было получено (или найдено – если маски с результатами уже имелись в наборе данных) 10 000 масок по соответствующим 10 000 снимкам. Для каждой такой маски были подсчитаны Precision, Recall, Accuracy, F1. По маскам было проведено среднее арифметическое, которое и отражено в таблице.

Результаты по теням представлены в таблице 2, вычисления производились аналогичным образом. Здесь представлено меньше алгоритмов ввиду того, что не каждый из раннее перечисленных нацелен на сегментацию теней.

Можем констатировать: по всем метрикам и по всем двум задачам (сегментации облаков и облачных теней) оказался лучшим алгоритм Mobile-Unet с заметным отрывом от остальных. В качестве второго по эффективности можно выделить Fmask. Если говорить конкретно про облака: наименьшие метрики имеет алгоритм qa60. Если про сегментацию облачных теней: в этой задаче наименее эффективные результаты продемонстрировал алгоритм ukis-csmask.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В рамках данной работы было осуществлено сравнение алгоритмов сегментации областей на космическом снимке, которые покрыты облаками, либо их тенями. Оценка производилась отдельно по облакам, и отдельно – по теням. Была проведена характеристика и осуществлен анализ используемого набора данных CloudSEN12. Была проведена описательная характеристика рассматриваемых алгоритмов сегментации. Представлено среднее арифметическое метрик по их отработке: Precision, Recall, Accuracy, F1.

Исследование показало: лучшие результаты по всем метрикам (как по теням, так и по облакам) имеет алгоритм, основанный на нейронной сети Mobile-Unet.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shi Qiu, Zhe Zhu, Binbin He. Fmask 4.0: Improved cloud and cloud shadow detection in Landsats 4-8 and Sentinel-2 imagery // Remote Sensing of Environment. – 2019, No. 231. – 67 p.
2. Sergii V. Skakun, Jan Wevers, Carsten Brockmann, Georgia Doxani, et al. Cloud Mask Intercomparison eXercise (CMIX): An evaluation of cloud masking algorithms for Landsat 8 and Sentinel-2 // Remote Sensing of Environment. – 2022, Vol. 274, No. 1. – 22 p.
3. Cesar Aybar, Luis Ysuhaylas, Jhomira Loja, Karen Gonzales, et al. CloudSEN12, a global dataset for semantic understanding of cloud and cloud shadow in Sentinel-2 // Scientific Data. – 2022. – Vol 9, No. 1. – 17 p.
4. Katelyn Tarrio, Xiaojing Tang, Jeffrey G Masek, Martin Claverie, et al. Comparison of cloud detection algorithms for Sentinel-2 imagery // Sci Remote Sens. – 2020. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666017220300092>
5. Sentinel-2. ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services, URL: https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2_SP-1322_2.pdf
6. Level-1C Algorithms and Products / Cloud Masks. URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-1c/cloud-masks>
7. Sentinel Hub's cloud detector for Sentinel-2 imagery. URL: <https://github.com/sentinel-hub/sentinel2-cloud-detector?ysclid=lil7s21ueq330887295> – Зарл. с экрана.
8. Magdalena Main-Knorn, Bringfried Pflug, Jerome Louis, Debaecker, Jerome Louis, et al. Sen2Cor for sentinel-2. In Image and Signal Processing for Remote Sensing // International Society for Optics and Photonics. – 2017. – Vol. 10427. – p. 1042704. –
9. URL: https://www.researchgate.net/publication/320231869_Sen2Cor_for_Sentinel-2
10. Marharyta Domnich, Indrek Sünter. KappaMask: AI-Based Cloudmask Processor for Sentinel-2 // Remote Sensing. – 2021. – Vol. 13, No. 20. – 22 p.

11. Zongwei Zhou, Md Mahfuzur Rahman Siddiquee, Nima Tajbakhsh, Jianming Liang. UNet++: A Nested U-Net Architecture for Medical Image Segmentation // 4th Deep Learning in Medical Image Analysis (DLMIA) Workshop. – 2018. – 11 p.
12. Junfeng Jing, Zhen Wang, Matthias Räscher, Huanhuan Zhang. Mobile-Unet: An efficient convolutional neural network for fabric defect detection // Textile Research Journal. – 2020. – Vol. 92, No 12. – 17 p.
13. CloudSEN12: A global dataset for cloud and cloud shadow semantic understanding. URL: <https://github.com/cloudsen12/examples?ysclid=lj2iwsvoFs700104227> – Загл. с экрана.
14. M. Wieland, Yu Li, S. Martinis. Multi-sensor cloud and cloud shadow segmentation with a convolutional neural network // Remote Sensing of Environment. – 2019. – No. 230. – 22 p.
15. Ukis-csmask. URL: <https://github.com/dlr-eoc/ukis-csmask?ysclid=lj2iaa2xsZ492603360> – Загл. с экрана.



ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ИЗ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ И АКТИВАЦИИ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ НА ЕГО СВОЙСТВА И МОДИФИЦИРУЮЩИЙ ЭФФЕКТ В ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРАХ

Готлиб Елена Михайловна,

доктор технических наук, профессор,
Институт полимеров,
Казанский национальный исследовательский
технологический университет
Казань, Россия
E-mail: egotlib@yandex.ru

Валеева Алина Равилевна,

кандидат технических наук, ассистент,
Институт авиации, наземного транспорта
и энергетики,
Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ
Казань, Россия
E-mail: alina.valeevaa@yandex.ru

Вахитова Мария Юрьевна,

лаборант-исследователь,
Институт органической и физической
химии им. А.Е. Арбузова,
Казанский научный центр РАН
Казань, Россия
E-mail: vakhitova@iopc.ru

Гимранова Альмира Рамазановна,

кандидат технических наук, доцент,
Институт авиации, наземного транспорта
и энергетики
Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ
Казань, Россия
E-mail: miracle543543@mail.ru

Предмет исследования: получение диоксида кремния, влияние его структуры и дисперсности на эксплуатационные и механические свойства эпоксидных материалов.

Цель исследования: выбор оптимального способа получения диоксида кремния из рисовой шелухи путем изучения его фазового состава и размера частиц и исследования эксплуатационных и механических свойств наполненных им эпоксидных материалов.

Методы и объекты исследования: приведено получение диоксида кремния путем утилизации крупнотоннажного отхода сельскохозяйственного производства – рисовой шелухи путем её термической и химической обработки, изучены химические свойства диоксида кремния, измерена дисперсность частиц наполнителя, произведена модификация полимера полученным диоксидом кремния.

Основные результаты исследования: установлено, что на свойства полимерных материалов влияет дисперсность наполнителей, так, наименьшим износом, наибольшей твердостью и прочностью при отрыве обладают композиции, наполненные диоксидом кремния (ДК1), полученным термической обработкой рисовой шелухи с дисперсностью частиц 38 мкм. В ходе исследований обнаружено, что на свойства композиций влияет фазовый состав наполнителя. Наилучшими свойствами обладают эпоксидные композиции, наполненные ДК1 с фазовым составом: рентгено-аморфная фаза, кристобалит и кварцит.

Ключевые слова: диоксид кремния, рисовая шелуха, КАТАПАВ 1618С.50, пористость, фазовый состав, износостойкость, твердость.

INFLUENCE OF THE METHOD OF OBTAINING FROM RICE HUSK AND ACTIVATION OF SILICON DIOXIDE ON ITS PROPERTIES AND MODIFYING EFFECT IN EPOXY POLYMERS

Elena M. Gotlib

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Institute of Polymers,
Kazan National Research Technological University
Kazan, Russia
E-mail: egotlib@yandex.ru

Alina R. Valeeva

Candidate of Technical Sciences, Assistant
Institute of Aviation, Land Transport and Energy,
Kazan National Research Technical University
named after. A.N. Tupolev - KAI
Kazan, Russia
E-mail: alina.valeevaa@yandex.ru

Maria Yu. Vakhitova

Research Assistant,
Institute of Organic and Physical Chemistry
named after. A.E. Arbuzova,
Kazan Scientific Center of the Russian Academy
of Sciences
Kazan, Russia
E-mail: vakhitova@iopc.ru

Almira R. Gimranova

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Institute of Aviation, Land Transport and Energy,
National Research Technical University named
after. A.N. Tupolev - KAI
Kazan, Russia
E-mail: miracle543543@mail.ru

Subject of research: production of silicon dioxide, the influence of its structure and dispersion on the operational and mechanical properties of epoxy materials.

Purpose of research: selection of the optimal method for obtaining silicon dioxide from rice husk by studying its phase composition and particle size and investigating the operational and mechanical properties of epoxy materials filled with it.

Methods and objects of research: the production of silicon dioxide by recycling large-scale agricultural waste - rice husks, through its thermal and chemical treatment is presented, the chemical properties of silicon dioxide are studied, the dispersion of filler particles is measured, the polymer is modified with the resulting silicon dioxide.

Main results of research: it was found that the properties of polymer materials are affected by the dispersion of fillers; compositions filled with silicon dioxide (DS1), obtained by heat treatment of rice husks with a particle dispersion of 38 microns, have the least wear, the greatest hardness and tear strength. During the research, it was discovered that the properties of the compositions are affected by the phase composition of the filler. The best properties are exhibited by epoxy compositions filled with DS1 with the phase composition: X-ray amorphous phase, cristobalite and quartzite.

Keywords: silica, rice husk, epoxy polymers, KATAPAV 1618C.50, porosity, phase composition, wear resistance, hardness.



ВВЕДЕНИЕ

Получение аморфного диоксида кремния из традиционного минерального ископаемого сырья является достаточно дорогим из-за высокой энергоёмкости процесса [1]. В то же время его уникальным источником являются побочные продукты рисового производства, поскольку при этом утилизируются многотоннажные сельскохозяйственные отходы, методы, переработки которых достаточно просты и не требуют очень высоких температур [2, 3].

Технологические схемы переработки шелухи или соломы риса определяют [4, 5] качество получаемых кремнезёмов, то есть содержание основного вещества, агрегатное состояние, средний размер частиц, кислотно-основные характеристики поверхности, объем пор.

Свойства диоксида кремния, получаемого из рисовой шелухи или соломы, можно [6, 7] эффективно регулировать путем обработки их поверхности ПАВ, в частности, четвертичными аммонийными солями (ЧАС).

Экспериментальная часть

В работе использовалась эпоксидная диановая смола ЭД-20 (ГОСТ 10587-84), отверждаемая аминоалкилфенолом (АФ-2) (ТУ 2494-052-00205423-2004) при комнатной температуре в течение 7 суток.

Наполнитель диоксид кремния (ДК), полученный:

- сжиганием рисовой шелухи (РШ) при температуре 500 °С в течение 3 часов (ДК₁) [8];
- методом щелочной варки [9], путем сжигания РШ при 550 °С в течение 5 часов и обработки ее 25 % раствором NaOH в соотношении 1:10 в течение 72 часов при комнатной температуре, получения фильтрата и обработки его 12 % соляной кислотой для получения геля, который обрабатывался дистиллированной водой, затем сушился при температуре 100 °С и далее сжигался при 575 °С (ДК₂);
- сжиганием при температуре 500 °С в течение 5 часов предварительно экстрагированной этанолом рисовой соломы (РС) [10], с последующей обработкой ее 18 % раствором NaOH в соотношении 1:10 при температуре 60 °С в течение 150 минут, и далее – 30 % серной кислотой при 60 °С до pH 11,5–11,6, затем сухой осадка при 100 °С и сжиганием его при 575 °С (ДК₃).
- ДК₁ обрабатывали по методике, описанной в работе [7] 50 % раствором в изопропиловом спирте алкилбензилдиметиламмоний хлорида (КАТАПАВ 1618С.50) при соотношении 5:1 (ДК₄).
- ДК₁ сушили 4 часа при 100 °С (ДК₅) для удаления остаточной влаги.

- активация поверхности ДК₅ проводилась [7] при соотношении компонентов 1:1 КАТАПАВ 1618С.50 (ДК₆), а также с отогнанным из этого ЧАС (при 83 °С в течение 2 часов) растворителем (ДК₇).

Рентгенофазный количественный анализ (РКФА) проводился на многофункциональном дифрактометре Rigaku SmartLab при параметрах съёмки: угловой интервал от 3 ° до 65 °, с шагом сканирования 0,02, с экспозицией 1 секунда в точке.

Анализ размера частиц модификаторов проводили методом лазерной дифракции в соответствии с ГОСТ Р 8.777-2011.

Площадь удельной поверхности пор модификаторов оценивали по адсорбции газа методом Брунауэра-Эммета-Теллера, согласно ISO 9277:2010, объем пор по методу BJH, согласно ISO 15901-2, на анализаторе площади поверхности и размера пор «Nova 1200e».

pH водных вытяжек образцов ДК определялось с помощью комбинированного измерителя SevenMulti по ГОСТ 21119.3-91.

Количественный элементный анализ осуществлялся на CHNS анализаторе Vario macro Cube производства «Elementar» (Германия).

Образцы взвешивались на микровесах Sartorius Cubis II (Германия) в оловянных капсулах. Для расчетов использовалось программное обеспечение vario Macro Software.

Электронно-микроскопические исследования структуры ДК проводились на сканирующем электронном микроскопе Auriga фирмы Zeiss с источником электронов термоэмиссионного типа в диапазоне ускоряющих напряжений 0,1 – 30 кВ, при пространственном разрешении: 1,0 нм при 15 кВ и 1,9 нм при 1 кВ.

Испытания на износостойкость эпоксидных материалов проводились на вертикальном оптиметре ИЗВ-1 при следующем режиме: удельное давление контртела на испытываемую поверхность образца $P = 1$ МПа, скорость скольжения $V_{ск} = 1$ м/сек, без смазки.

Твердость определялась по методу Шора ГОСТ 24621-91.

Адгезионная прочность определялась методом отрыва на образцах алюминия по ГОСТ 32299-2013.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Методом РКФА определен фазовый состав (таблица 1) полученных диоксидов кремния и установлено, что ДК₁ содержит 97 % аморфной фазы. В его составе обнаружены также небольшие количества кристобалита – кристаллического минерала класса кремнезёмов и кварца – полиморфной модификации

Таблица 1. Фазовый состав и кислотно-основные свойства поверхности полученных из РШ и РС диоксидов кремния.

Модификатор	Фазовый состав	Содержание, мас. %	pH
ДК ₁	Рентгеноаморфная фаза	97	9,95
	Кристобалит	2	
	Кварц	1	
ДК ₂	Рентгеноаморфная фаза	100	7,93
ДК ₃	Рентгеноаморфная фаза	100	6,51

диоксида кремния. В то же время ДК₂ и ДК₃ являются полностью аморфными.

Щелочной характер поверхности ДК связан с присутствием в их составе достаточного количества примесей щелочных и щелочно-земельных металлов [11]. Катионный КАТАПАВ, у которого поверхностная активность при растворении в воде обуславливается катионами, содержащими длинноцепочечный гидрофобный радикал [12], несколько снижает pH ДК₁ до 9,51.

Существенное влияние на пористость ДК оказывает способ его получения из рисовой шелухи (таблица 2).

Так, ДК₂ и ДК₃ имеют существенно больший объем микро- и мезопор, чем ДК₁. Также у них значительно больше площадь микропор и удельная поверхность мезопор. У ДК₂ больше и средний диаметр мезопор. Это обусловлено способом получения данных диоксидов кремния, связанным с использованием химических реагентов.

Активация поверхности диоксида кремния КАТАПАВ значительно уменьшает его пористость (таблица 2). При этом средний диаметр пор не существенно изменяется, а их удельная поверхность значительно падает. Снижение пористости ДК, при активации

Таблица 2. Характеристики пористости структуры полученных различными методами диоксидов кремния.

Образец	Объем микропор по t-методу, см ³ /г	Площадь микропор по t-методу, м ² /г	Удельная поверхность по БЭТ, м ² /г	Общий объем пор по ВЖН, см ³ /г	Средний диаметр пор по ВЖН, нм
ДК ₁	0,002	3,4	27,9	0,08	4,1
ДК ₂	0,020	42,6	250,2	0,79	11,5
ДК ₃	0,023	50,32	253,1	0,16	3,5
ДК ₄	0,0015	2,1	5,94	0,013	4,35

ЧАС, обусловлено проникновением КАТАПАВ в его поры [12].

Как следует из данных электронной микроскопии (рисунок 1), более равномерную структуру имеет ДК₂. У него и меньший размер частиц.

Анализ гранулометрического состава ДК, полученных на основе отходов рисового производства, показывает, что распределение по размерам их частиц носит унимодальный характер (рисунок 2).

Средний размер частиц ДК₁ – 38 мкм, ДК₂ – 40 мкм, ДК₃ – 30 мкм, ДК₄ – 15 мкм.

Активация ДК₁ КАТАПАВ 1618С.50 обуславливает значительное снижение среднего размера частиц этого кремнезема примерно в 20

раз. Это можно связать с уменьшением склонности частиц кремнезема к агломерации [13].

Одновременно имеет место резкое сужение распределения частиц ДК по размерам, что указывает на рост однородности структуры в результате поверхностной активации (рисунок 2).

Образцы ДК₂ и ДК₃, полученные с применением кислот и щелочей, а также активированный ДК₆ имеют несколько большую концентрацию водорода, а обработанный аминсодержащим КАТАПАВ наполнитель – и азота, и углерода (таблица 3).

Свойства диоксида кремния оказывают влияние на его модифицирующий эффект в эпоксидных композициях.

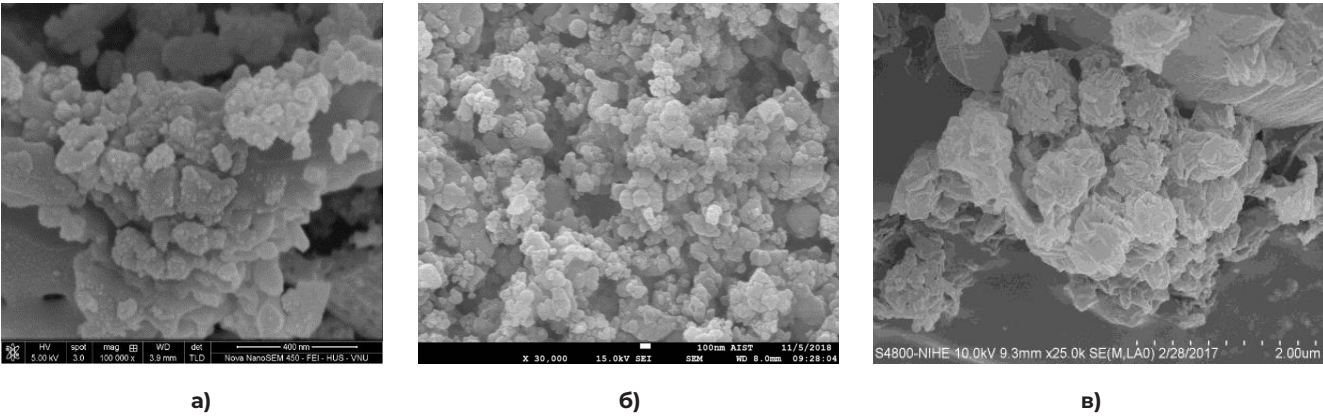


Рисунок 1. Электронно-микроскопический снимок структуры: а) ДК₁; б) ДК₂; в) ДК₃ (увеличение 10⁵х).

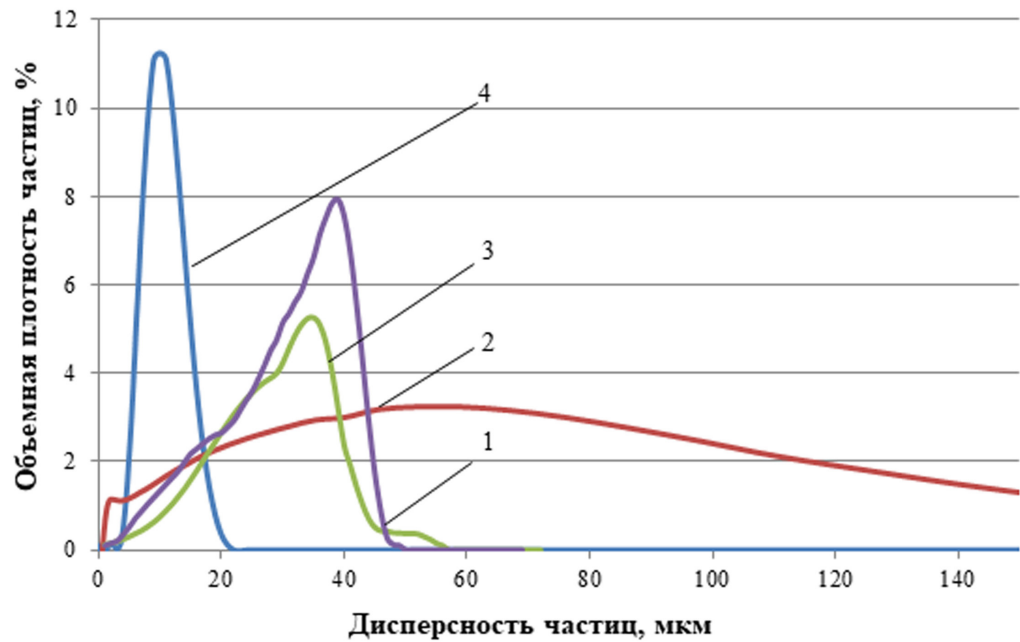


Рисунок 2. Кривые распределения по размерам частиц: 1 – ДК₁; 2 – ДК₂; 3 – ДК₃; 4 – ДК₄.

Таблица 3. Результаты элементного анализа образцов диоксидов кремния.

Образец	С, %	Н, %	Н, %
ДК ₁	3,93	0,21	0,32
ДК ₂	1,15	0,87	<0,5
ДК ₃	0,28	1,11	<0,5
ДК ₄	1,29	<0,5	<0,5
ДК ₅	0,48	<0,5	<0,5
ДК ₆	17,49	3,02	0,90
ДК ₇	0,93	<0,5	<0,5

Таблица 4. Эксплуатационные свойства эпоксидных композиций, наполненных ДК, полученных из РШ по различным технологиям.

Тип наполнителя	Износ, 10-6 м	Твердость, HSD	Прочность при отрыве, к стали, МПа
Базовый состав	19,1	46,1	3,02
ДК₁	11,2	48,6	3,24
ДК₂	13,1	37,9	3,16
ДК₃	13,5	35,4	3,09
ДК₄	10,5	60,6	3,38
ДК₅	10,8	56,9	3,32

Примечание: Содержание ДК 10 мас. ч. на 100 мас. ч. ЭД-20.

Установлено (таблица 4), что все исследованные образцы диоксида кремния снижают износ эпоксидных материалов, а полученные без использования химических реагентов ДК еще повышают и твердость. Причем эти эффекты растут при активации наполнителей КАТАПАВ.

Полученные данные показывают (таблица 4), что адгезионная прочность при отрыве к стали наполненных эпоксидных покрытий несколько повышаются наполнении ДК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Повышение адгезионных характеристик, твердости и износостойкости наполненных ДК эпоксидных материалов может быть связано с их аморфной фазовой структурой, обеспечивающей высокую эффективность межфазных взаимодействий.

Установлено, что больший модифицирующий эффект обеспечивает диоксид кремния, полученный простым сжиганием рисовой шелухи, без применения кислот и щелочей. Возможно, это связано с меньшим объемом и удельной поверхностью его пор (таблица 2) и более узким распределением частиц по размерам (рисунок 2).

Значительное снижение размера частиц диоксида кремния при обработке КАТАПАВ и рост однородности его структуры должны обеспечивать более равномерное распределение наполнителя в эпоксидной матрице [12], что и является причиной увеличения эксплуатационных характеристик [7], наполненных материалов (таблица 4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fernandes, I. J. Replacement of Commercial Silica by Rice Husk Ash in Epoxy Composites / I.J. Fernandes, R. Santos, E. Santos, T. L. Rocha, N. S. D. Junior, C. A. Moraes // A

Comparative Analysis Materials Research. – 2018. – 21. – N. 3. – P. 263–268.

2. Nwosu-Obieogu, K. Utilization of Rice Husk as Reinforcement in Plastic Composites Fabrication - A Review / K. Nwosu-Obieogu, L. Chiemenem, K. Adekunle // American Journal of Materials Synthesis and Processing. – V. 1. – N. 3. – 2016. – P. 32–36.
3. Rohani, A. B. Production of High Purity Amorphous Silica from Rice Husk / A. B. Rohani, Y. Rosiyah, N. G. Seng // Procedia Chemistry. – 2016. – V. 19. – P. 189 – 195.
4. Земнухова, Л. А. Состав и строение образцов аморфного кремнезема, полученных из шелухи и соломы риса / Л. А. Земнухова, А. Е. Панасенко, Е. А. Цой, Г. А. Федорищева, Н. П. Шапкин, А. П. Артемьянов, В. Ю. Майоров. – Текст: непосредственный // Неорганические материалы. – 2014. – Т. 50. – № 1. – С. 82–89.
5. Готлиб, Е. М. Влияние наполнителей, полученных на основе отходов переработки зерна, на химическую стойкость эпоксидных материалов / Е. М. Готлиб, Е. С. Ямалеева, А. Р. Валеева, А. Р. Гимранова, Р. Ш. Нцуму. – Текст: непосредственный // Ползуновский Вестник. – № 3. – 2022. – С. 222–230.
6. Шмакова, Н. С. Влияние катионных поверхностно-активных веществ на физико-механические свойства полимерных композиций / Н. С. Шмакова, И. А. Кириш, В. А. Романова. – Текст: непосредственный // Вестник ВГУИТ. – 2020. – № 1. – С. 225–229.
7. Готлиб, Е. М. Эпоксидные материалы, наполненные активированной четвертичными аммонийными солями золой рисовой шелухи / Е. М. Готлиб, А. Р. Валеева, Е. Н. Черезова, А. Г. Соколова. – Текст: непосредственный // Известия ВУЗ строительство. – 2022. – № 2. – С. 31–41.
8. Готлиб, Е. М. Влияние температуры получения золы рисовой шелухи на ее состав и модифицирующий эффект / Е. М. Готлиб Е.М., Р. Ш. Нцуму, А. Р. Валеева, Е. С. Ямалеева. – Текст: непосредственный // Вестник технологического университета 2020. – Т. 23. – № 11. – С. 49–51.

9. Нгуен, З. Х. Использование сжигаемых рисовых остатков для производства наносилики / З. Х. Нгуен, Л. А. Зенитова, К. З. Ле, Д. Т. Т. Буи. – Текст: непосредственный // Бутлеровские сообщения. – 2019. – Т. 57. – № 3. – С. 155–161.
10. Нгия, Х. Н. Способ получения аморфного наноразмерного диоксида кремния из отходов рисового производства / Х. Н. Нгия, Л. А. Зенитова, Л. К. Зиен, and Д. Н. Чуен. – Текст: непосредственный // Экология и Промышленность Россия. – Т. 23. – № 4. – С. 30–35.
11. Арефьева, О. Д. Кислотно-основные свойства аморфного диоксида кремния из соломы и шелухи риса О. Д. Арефьева, П. Д. Пироговская, А. Е. Панасенко, А. В. Ковехова, Л. А. Земнухова. – Текст: непосредственный // Химия растительного сырья. – 2021. – № 1. – С. 327–335.
12. Холмберг, К. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / К. Холмберг, Б. Йёнссон, Б. Кронберг, Б. Линдман; пер. с англ. – 4-е изд., электрон. – М. : Лаборатория знаний, 2020. – 531 с. – Текст: электронный.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят Коллективный спектро-аналитический Центр физико-химических исследований строения, свойств и состава веществ и материалов ФИЦ КазНЦ РАН за проведение элементного анализа, выполненного в рамках государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН.



ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА ТРУБ ИЗ СТАЛИ 09Г2С

Горунов Андрей Игоревич,
доктор технических наук,
профессор,
Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.И. Туполева – КАИ
Казань, Россия
E-mail: gorunow.andrej@yandex.ru

Нюхляев Олег Александрович,
аспирант,
Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.И. Туполева – КАИ
Казань, Россия
E-mail: 9wikolega@gmail.com

Гильмутдинов Альберт Харисович,
доктор физико-математических наук,
Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.И. Туполева – КАИ
Казань, Россия
E-mail: albert.gilmutdinov@kai.ru

Предмет исследования: лазерная сварка трубных
сталей.

Цель исследования: варьирование параметрами
лазерной сварки для получения оптимальных сочета-
ний сварных соединений.

Объект исследования: структура и свойства свар-
ных соединений в результате лазерной сварки трубной
стали.

Методы исследования: исследование параметров
структуры металла сварного шва осуществлялось с
помощью оптической микроскопии, пористость и на-
личие дефектов определялась методом рентгеновской
томографии.

Основные результаты исследования: представле-
ны результаты лазерной сварки насосно-компрессор-
ных труб с различной толщиной путем варьирования
мощностью и параметрами лазерного излучения. По-
казаны возможности технологии лазерной сварки труб
с большими толщинами, с применением присадочной
проволоки.

Ключевые слова: лазерная сварка, направка, проч-
ность, твердость, механические свойства, сварной шов,
микроструктура, состав, колебания.

LASER WELDING OF PIPE FROM STEEL 09G2S

Andrey I. Gorunov
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Kazan National Research Technical
University named after A.I. Tupolev – KAI
Kazan, Russia
E-mail: gorunow.andrej@yandex.ru

Oleg A. Nyukhlyaev
Postgraduate Student,
Kazan National Research Technical
University named after A.I. Tupolev – KAI
Kazan, Russia
E-mail: 9wikolega@gmail.com

Albert Kh. Gilmutdinov
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Kazan National Research Technical
University named after A.I. Tupolev – KAI
Kazan, Russia
E-mail: albert.gilmutdinov@kai.ru

Subject of research: laser welding of pipe steels.

Purpose of research: variation of laser welding
parameters to obtain optimal combinations of welded joints.

Object of research: structure and properties of welded
joints as a result of laser welding of pipe steel.

Methods of research: optical microscopy, X-ray
tomography and tensile tests were used to study the effect
of laser parameters on the weld.

Main results of research: the results of laser welding of
tubing with different thickness by varying the power and
parameters of laser radiation are presented. Possibilities of
technology of laser welding of pipes with big thicknesses,
with application of a filler wire are shown.

Keywords: laser welding, guidance, strength, hardness,
mechanical properties, weld, microstructure, composition,
vibrations.

ВВЕДЕНИЕ

Сварка стальных листов большой тол-
щины является важной задачей во многих
отраслях промышленности, таких как судо-
строение и трубное производство. Обычно
задача решается применением аргонно-дуго-
вой сварки или сварки под флюсом [1–2]. Эти
подходы, однако, имеют существенные недо-
статки: большая продолжительность процес-
са сварки, значительные термические напря-
жения в сварном шве, непрерывный процесс
разделки кромок изделий под сварку. Все эти
факторы привели к поиску альтернативных

решений. Были разработаны новые способы
сварки, сокращающие количество проходов и
основанные на использовании концентриро-
ванных потоков энергии [3–5]. Из-за возмоз-
ности создания высокой удельной мощности
лазерная сварка приобрела повышенный
интерес. Однако ее применение при созда-
нии неразъемных соединений больших тол-
щин является затруднительным, и качество
сварки сильно зависит от предварительной
обработки свариваемых кромок. Для исклю-
чения влияния зазоров в стыке свариваемых
деталей был разработан ряд комбинирован-
ных способов лазерной сварки, таких как



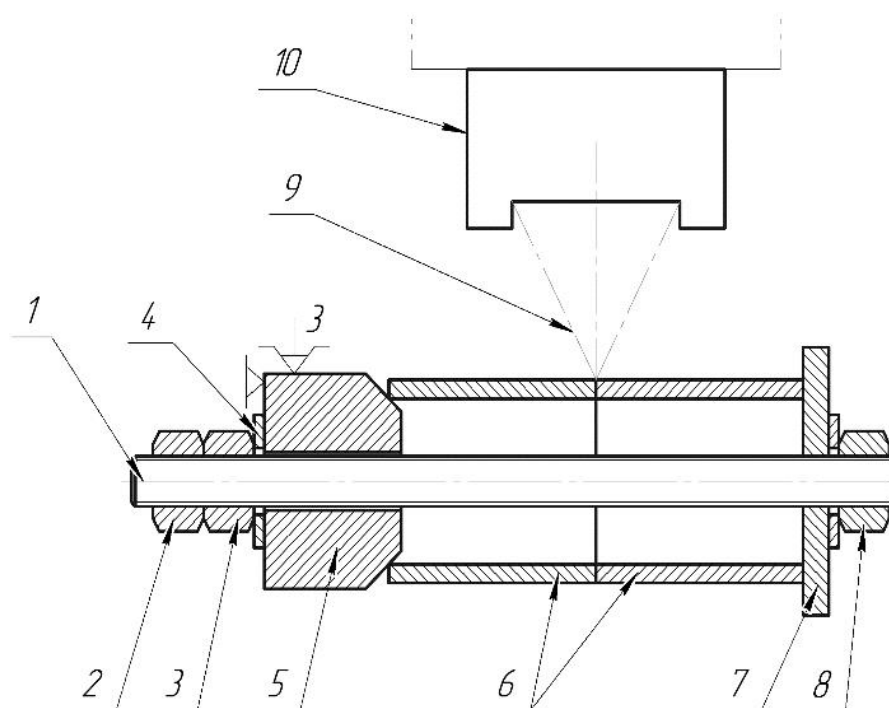


Рисунок 1. Приспособление для лазерной сварки труб. 1 – Шпилька, 2 – Гайка, 3 – Контр-гайка, 4 – Шайба, 5 – Конусный упор, 6 – Стыкуемые трубы, 7 – Зажимная шайба, 8 – Зажимная гайка, 9 – Схема фокусировки лазера, 10 – Лазерная сварочная голова Kugler.

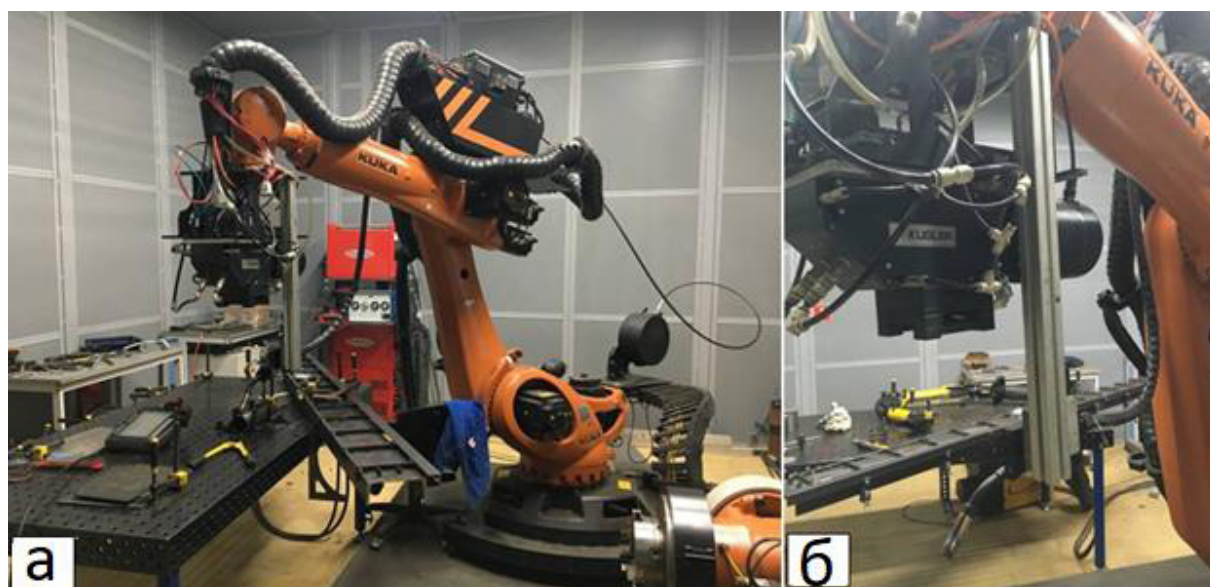


Рисунок 2. Установка для выращивания образцов с боковой подачей проволоки.

гибридная лазерная сварка, гибридная дуговая сварка под флюсом [6–9]. Несмотря на большой успех этих технологий, в большинстве случаев реальные изделия имеют сложную геометрию, поэтому для каждого конкретного случая необходимо разрабатывать индивидуальную технологию. Целью данного исследования является разработка гибридной технологии сварки труб, используемых в нефтегазовой отрасли, изучение механических свойств материалов, полученных лазерной сваркой и наплавкой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сварка производилась с помощью волоконного лазера мощностью до 20 кВт, с длиной волны излучения 1064 нм. Для проведения лазерной сварки было разработано специальное прижимное устройство, которое осуществляло плотное прижимание свариваемых частей труб друг к другу. Сборочная схема с оснасткой для стыковки труб показана на рисунке 1. На рисунке 2 показана технологическая установка для лазерной сварки труб.



Таблица 1. Химический состав трубной стали, %.

Содержание элементов, % масс.								
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
0,12–0,35	0,17–0,37	1,4–1,8	До 0,3	До 0,35	До 0,035	До 0,3	До 0,3	≈96

Таблица 2. Параметры для оптимального режима сварки.

Режим лазерной сварки	Значение
Скорость сварки, м/сек	1–11
Мощность лазерного излучения, кВт	0,5–9
Расход защитного газа, л/мин	1–6
Смещение фокусного расстояния, мм	1–6
Скорость подачи присадочной проволоки, м/мин	0,1–4
Угол наклона лазерного излучения по отношению к поверхности металла, град.	0–90
Качество подготовки поверхности (шероховатость), Ra, мкм	2

После сварки проводили подготовку поверхности образцов шлифование, грубое и тонкое полирование. Осуществляли химическое травление микрошлифов в подготовленном реактиве $\text{HF} - 15 \text{ см}^3$, $\text{HNO}_3 - 35 \text{ см}^3$, $\text{H}_2\text{O} - 200 \text{ см}^3$, глицерин – 100 см^3 . Для измерения микротвердости применяли твердомер НХ – 1000ТМ. Анализ структуры поверхности металлографических образцов производили при помощи универсального инвертированного микроскопа «Axiovert – 200М». В качестве образцов для сварки выбран базовый комплект номенклатуры насосно-компрессорных труб с различными видами и методами подготовки торцов и условиями эксплуатации, изготовленных по ГОСТ 633–80 и ГОСТ Р 52203–2004, наружным диаметром 73 мм и толщиной стенок 5,5 мм. Фактическое среднестатистическое отклонение формы в поперечном сечении по наружному диаметру составляла 0,42 мм. В процессе лазерной сварки варьировали такие параметры процесса, как скорость перемещения лазера относительно поверхности образцов, мощность излучения, расход защитного газа, смещение фокусного расстояния, а также скорость подачи присадочной проволоки. Изменение фокусного расстояния позволяло получать изменение площади лазерного сфокусированного пучка. Соответственно, менялось значение плотности энергии пучка, приходящееся на квадратный сантиметр площади. Данный параметр оказывает значительное влияние на степень провара. Скорость подачи проволоки позволяла варьировать параметры наплавляемого валика

на сварном шве. Расход защитного газа был фиксирован и составил 25 л/мин. Также торцы стыкуемых элементов трубы по результатам этапа 1 решено подготавливать с требуемыми параметрами. Для испытания на растяжение из сваренных труб вырезались образцы. Для растяжения использовалась универсальная электромеханическая испытательная машина Instron 5884. Был подобран оптимальный режим сварки труб с проточкой, при которой толщина трубы составляет 4,5–5 мм.

Экспериментально было установлено, что лазерное излучение рассеивается в столбе дыма, появляющегося при сварке (в связи с кипением металла на поверхности и плавлением проволоки). Во избежание потери мощности лазерного излучения и достижения подачи в сварочную ванну постоянной мощности лазера был установлен воздушный нож. Расположение боковое, на минимально допустимой высоте к поверхности сварки, не сбивая при этом защитный газ. При сварке использовалась сварочная проволока марки 08Г2С, диаметр 1,2 мм. Скорость подачи проволоки в оба прохода – 3 м/мин. Проволока подавалась непосредственно в сварочную ванну под углом 30° , и плавилась под действием лазера. Защитный газ – сварочная смесь 18 % 82 % Ar, расход 25 л.

Для плавления проволоки, избежания «кипения» металла, разбрызгивания, а также испарения металла на поверхности труб было выбрано значение расфокусировки лазера +10 мм. Такое значение фокуса обеспечивало необходимый диаметр лазерного пятна без значительных потерь в мощности (чем



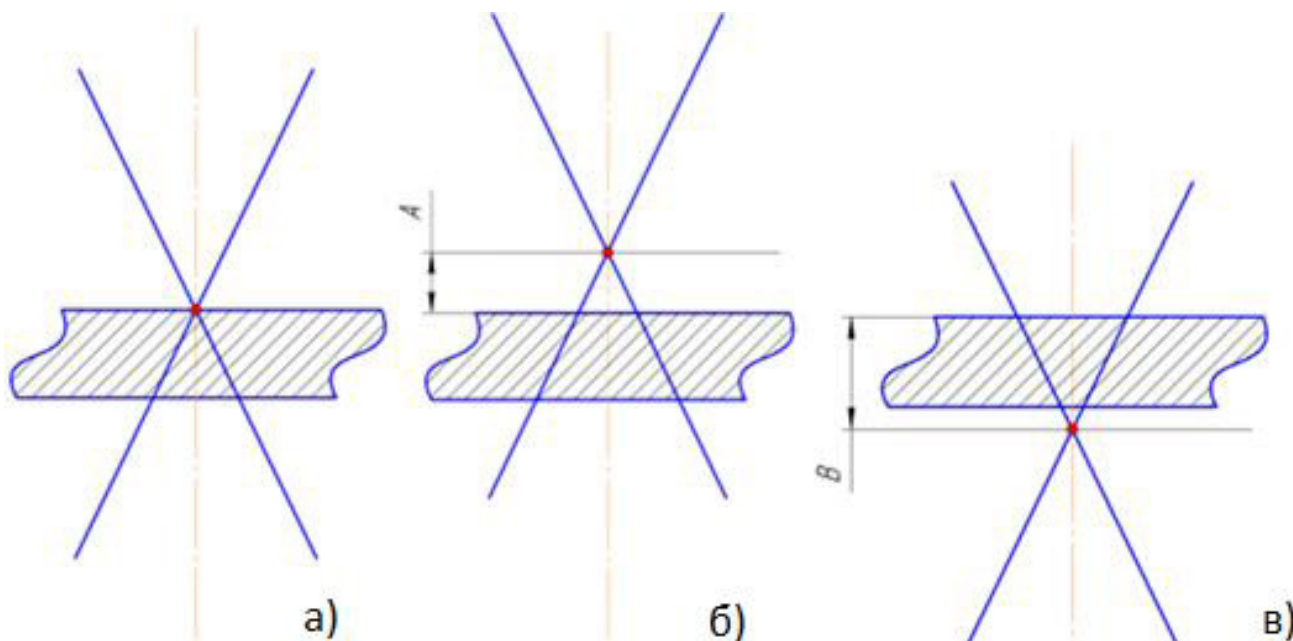


Рисунок 3. Фокус лазерного пятна, а – на поверхности металла, «в фокусе», $\Delta f=0$, б – над поверхностью металла, «плюсовой фокус», $\Delta f>0$, в – под поверхностью металла, «минусовой фокус», $\Delta f<0$.

больше лазерное пятно, тем меньше придется энергии излучения на площадь). Тем не менее, данного диаметра лазерного пятна было не достаточно для создания необходимой ширины сварочной ванны. Для этого, помимо расфокуса, применялась технология «сканирующего луча», которая позволяла увеличить площадь воздействия лазерного излучения на поверхности свариваемых заготовок, более того сканирование луча в процессе сварки способствует перемешиванию материала проволоки с материалом труб. Значения осцилляции в процессе сканирования: частота сканирования – 20 Гц, сканирование осуществлялось по синусоиде.

Для осуществления лазерной сварки были рассмотрены три варианта расположения фокуса лазерного луча: над поверхностью (рисунок 3а) («плюсовой фокус»), на поверхности (рисунок 3б) («в фокусе») и под поверхностью (рисунок 3в) металла («минусовой фокус»).

В случае осуществления сварки «в фокусе» площадь сфокусированного участка лазерного пятна достигала $3 \times 10^{-6} \text{ см}^2$. В данной схеме достигалось максимальное приложение энергии, температура поверхности повышалась до точки испарения материала более 2000°C . В случае, когда сварка осуществлялась в «плюсовом фокусе», – площадь сфокусированного участка регулировалась, для получения требуемого проплава материала при этом выдерживалось соотношение мощность/скорость. В данной схеме луч лазера фокусировался над поверхностью металла, и уже на самой поверхности имел

расфокусированный пучок. Благодаря полученной площади нагрева достигалось более равномерного распространение тепла по поверхности металла и осуществлялось максимальное тепловложение для расплавления присадочного материала. Сварочная ванна имела кинжальный характер. В случае, когда сварка осуществлялась при «минусовом фокусе» лазерного луча, – площадь сфокусированного участка регулировалась для получения требуемого проплава материала, при этом требовалось выдержать соотношение мощность/скорость. В данной схеме луч лазера фокусировался под поверхностью металла, и уже на самой поверхности формировался расфокусированный пучок. Так же, как и в случае «плюсового фокуса», для данной схемы расположения лазерного луча характерно наиболее глубокое проникновение излучения в металл, что приводит к наиболее оптимальному и эффективному тепловложению лазерного излучения. Вследствие происходящих на поверхности высокотемпературных процессов (выгорание металла) за сварочной ванной образуется плазменный факел. В зависимости от скорости, мощности и наклона лазерного излучения он имеет различный характер. Также на распространение факела влияет наклон лазерного луча относительно свариваемой поверхности. При наклоне лазерного излучения плазменный факел получает вдвое меньшее приращение по углу. Данное утверждение верно на углах до 45° . При больших значениях угла площадь нагрева металла значительно увеличивается, и происходит возвращение плазменного

Таблица 3. Технологические параметры лазерной сварки.

Режимы сварки							
Мощность лазера, кВт	Линейная скорость, м/с	Присадочный материал	Скорость подачи проволоки, м/мин	Защитный газ	Фокус F, мм	Параметры сканирующего луча	
						Частота сканирования, Гц	Амплитуда, мм
9	0,028	Присадочная проволока 09Г2С	3	Сварочная смесь 18% CO ₂ +82%Ar	+10	20	3

Таблица 4. Соотношение мощности и толщины стенки трубы.

Параметры сварки в зависимости от толщины		
Толщина стенки (мм)	Мощность на 1–3 четверти (кВт)	Мощность на 4 четверти (кВт)
4,5	8,0	7,8
4,6	8,3	8,1
4,7	8,5	8,3
4,8–4,9	8,7	8,5
5,0	9,0	8,8

факела к значению 90 °. Плазменный факел оказывает исключительно отрицательное влияние на образование сварочного соединения путем ЛС. Из-за плазменного факела становится возможным «догрев» углерода в металле, который при достижении температуры расплавления образует кратковременный газозвдушный канал (процесс кипения). Под действием сил натяжения образуется всплеск металла, что приводит к образованию дефектов. Данный процесс происходит с периодическими повторениями. Также из-за мелкодисперсных частиц, находящихся в облаке, плазменный факел играет роль поглощающего экрана. Данный эффект также имеет пульсационный характер. Проблема плазменного факела решается установкой дополнительных «воздушных ножей» для сбивания пульсационной части факела и дополнительной вытяжкой непосредственно в самой зоне сварки. Параметры лазерной сварки представлены в таблице 3.

Сварку труб осуществляли в 2 прохода. Первый проход является основным, при котором осуществляется провар труб на всю толщину при высокой мощности лазера. Второй – «залечивающий» проход, при котором проволока наплавлялась на шов для устранения усадочной ванны. При этом лазерная голова оставалась неподвижной, скорость вращения патрона оставалась постоянной при сварке и составляла $V_{\text{лин}} = 0,028 \text{ м/с}$, угловая скорость сварки составила $\omega_{\text{рад}} = 0,78 \text{ рад/с}$

при $R=0,0365 \text{ м}$. Ввиду того, что трубы имели разный износ, толщина стенки трубы была слишком малой для осуществления проточки толщиной 5 мм. Значения соотношения мощности при первом проходе к толщине стенки представлены в таблице 4.

Мощность лазерного излучения при втором проходе (мощность, необходимая для расплавления проволоки и создания «валика» поверх шва) является неизменной и равна 4 кВт (рисунок 4).

Толщина стенки после проточки могла оказаться толщиной от 4,5 до 5 мм. Поэтому для каждой трубы с индивидуальной толщиной стенки была подобрана мощность лазера. Мощность лазера при сварке последней четверти трубы была снижена, т. к. металл трубы в процессе сварки разогревался, и требовалось меньшее тепловложение. Первый этап экспериментов проводился по двухфакторной схеме: изменение скорости и мощности ЛС при прочих постоянных параметрах. Данная серия экспериментов проводилась с целью установить наиболее благоприятные режимы провара металла методом лазерной сварки с учетом варьирования смещения фокусной точки. Для установления зоны провара металла были изготовлены линейные сегменты труб из имеющихся заготовок. Сегменты прошли механическую зачистку поверхности и обезжиривание. Были установлены режимы сварки и проварены сегменты. Далее были построены графики провара при

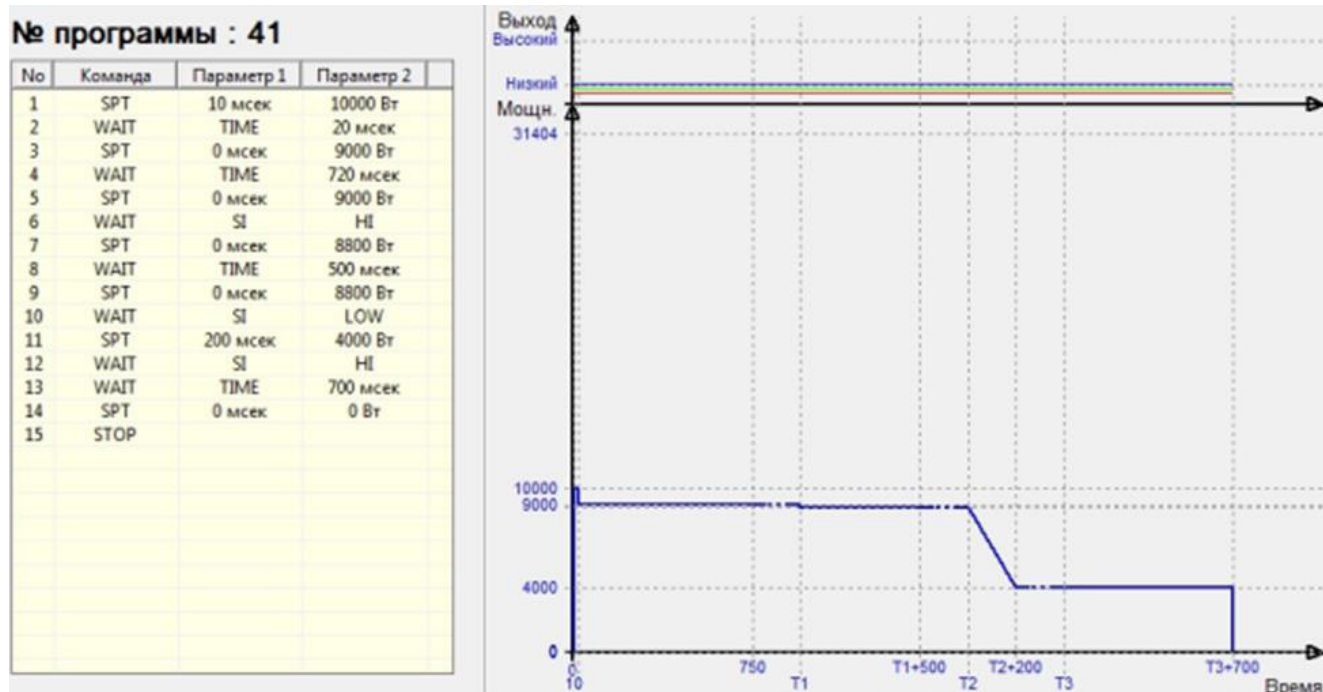


Рисунок 4. Графическая зависимость оптимального режима сварки, где 0 – начало сварки, T1 – точка начала последней четверти, T2 – конец первого прохода и начало второго прохода, T3 – конец второго прохода.

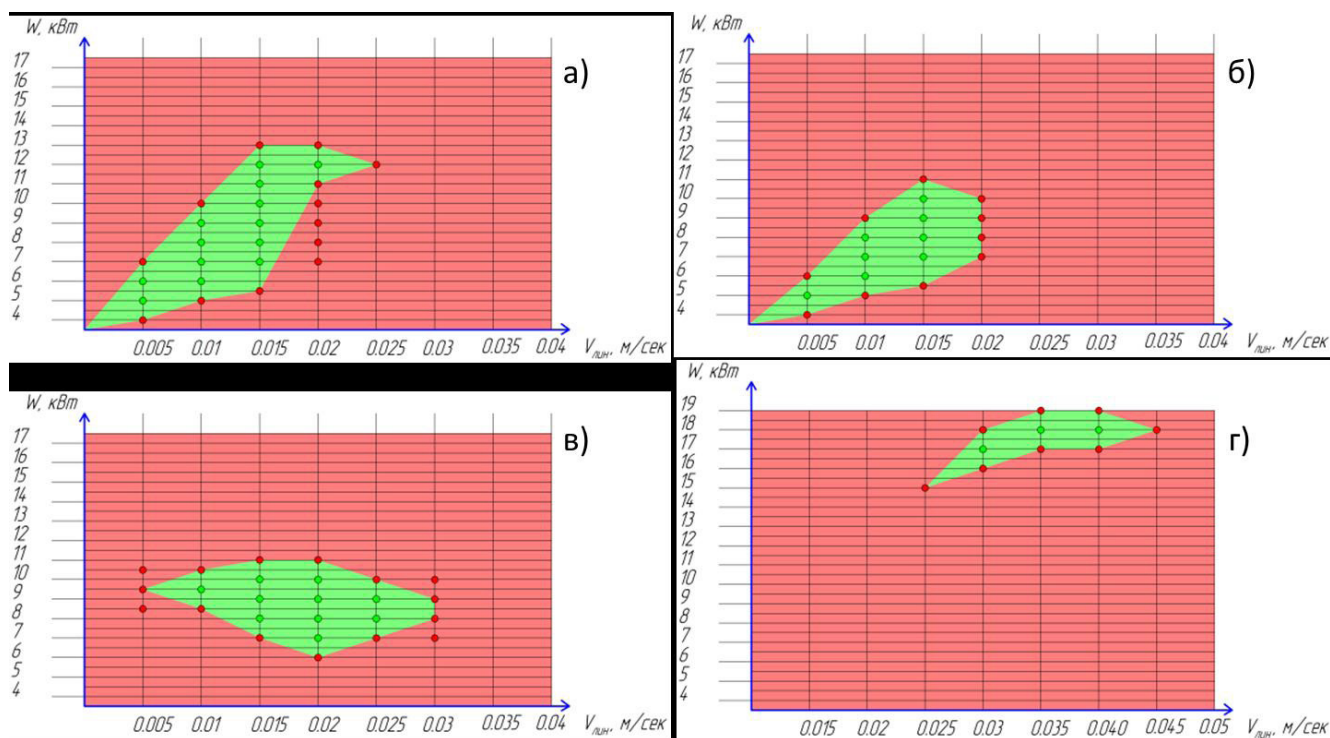


Рисунок 5. Зависимость наличия проплава от скорости и мощности, фокус $f = -10$ (а), -15 (б), $+15$ (в), -30 (г).

различных смещениях фокусной системы (рисунок 5).

Данные эксперименты проводились без применения присадочной проволоки.

При этом заштрихованные области соответствуют провару металла без дефектов, отсутствие трещин, отсутствие непровара, отсутствие пор и свищей методом рентгенографии.

При фокусном расстоянии, соответствующем значениям $0 < \Delta f < 10$, $-10 < \Delta f < 0$, наблюдается стабильный проплав материала. Ширина сварочной ванны достигает 4 мм в ширине. При $10 < \Delta f < 30$, $-30 < \Delta f < -10$ наблюдается неустойчивость процессов (кипение, удаление материала с поверхности), большое количество дефектов. Ширина сварочной ванны достигала

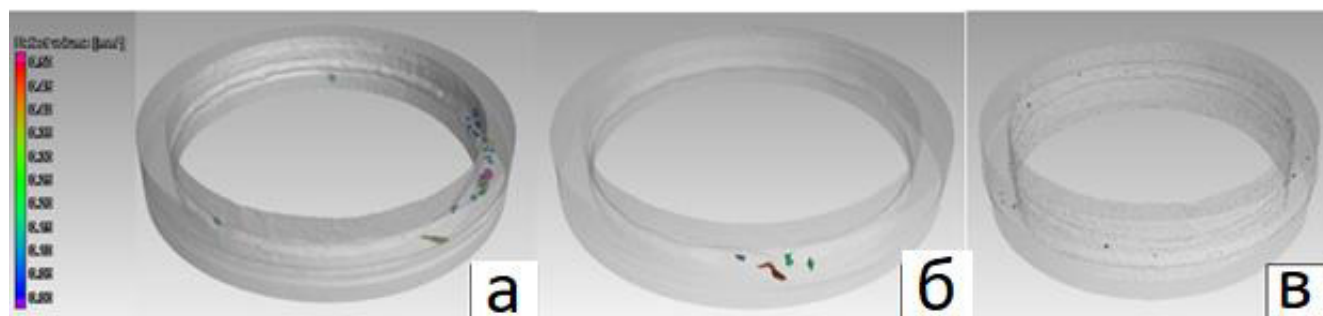


Рисунок 6. 3D-снимок трубы, сделанный с помощью рентгеновского томографа: а – скорость подачи проволоки 2,2 мм/с, б – 2,6 мм/с, в – 3 мм/с.

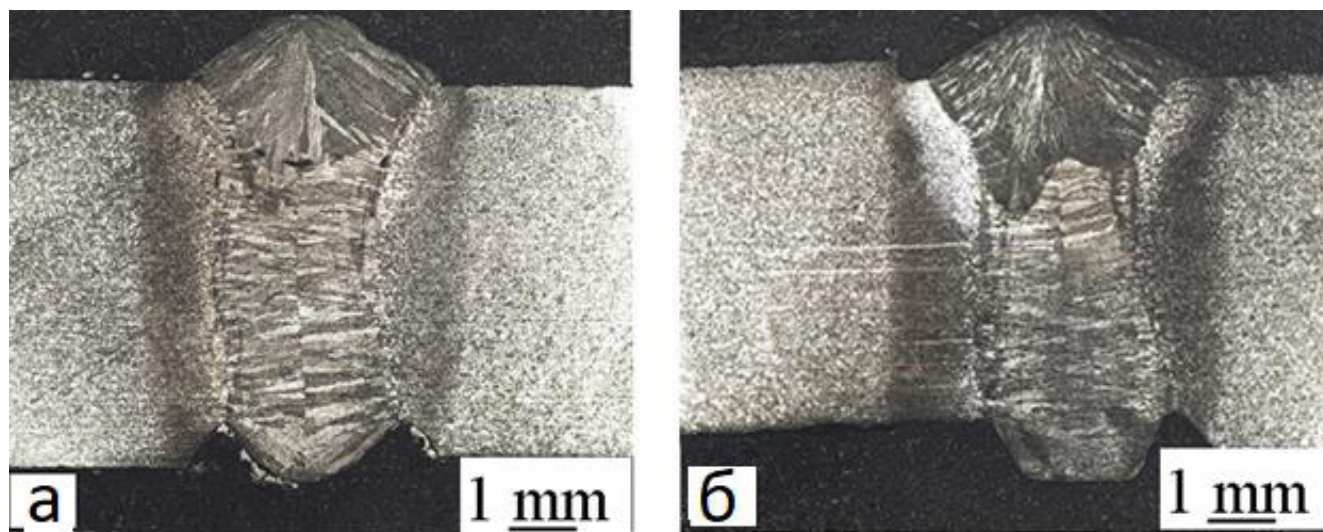


Рисунок 7. Сварной шов, полученный методом лазерной наплавки проволоки на поверхность образцов из трубной стали с мощностью лазерного излучения 2500 Вт (а), 4000 Вт (б).

в этом случае 8 мм в ширине. Результаты томографического исследования представлены на рисунке 6. Можно видеть, что использование метода лазерной сварки в два прохода в начале старта сварки скопление пор размером более 100 мкм. При этом использование постоянной мощности лазерного излучения приводило к разогреву детали и нарушению стабильности процесса лазерной сварки. Появление пористости в сварном шве объясняется нехваткой присадочного материала, вследствие чего оставались пустоты. Увеличение скорости подачи проволоки в сварочном шве привело к заполнению пустот (пор). Скорость подачи проволоки была увеличена с 2,2 мм/с до 3,0 мм/с. Для успешного плавления большего объема присадочного материала так же была увеличена мощность. Скорость подачи проволоки для получения сварного шва с минимальным количеством пор составила 3 м/с.

В процессе сварки происходит концентрированное тепловложение с помощью энергии лазерного излучения на стыке свариваемых заготовок. При этом часть энергии

забирает на себя прилегающие к ванне расплава участки металла трубы, образуя тем самым резкий температурный градиент. В процессе сварки длительное воздействие на свариваемые участки металла концентрированного лазерного излучения приводит к снижению температурного градиента. Для сваривания образцов на всю глубину шва при втором проходе лазера требуется значительно меньшее тепловложение. Однако такой способ приводит к тому, что при сварке образцов с большими толщинами происходит вытекание металла с обратной стороны шва, противоположной той, на которую подается лазерное излучение. Решением этой проблемы является создание в начале сварки мощного короткого импульса, который обеспечивает полный провар толщины труб с самого начала сварки. Параметры импульса при этом составили: мощность 10 кВт, а длительность импульса 30 мсек.

К сожалению, внутри свариваемой трубы защитный газ отсутствует из-за невозможности его подвода. При высокой мощности лазера расплавленного металла оказывается

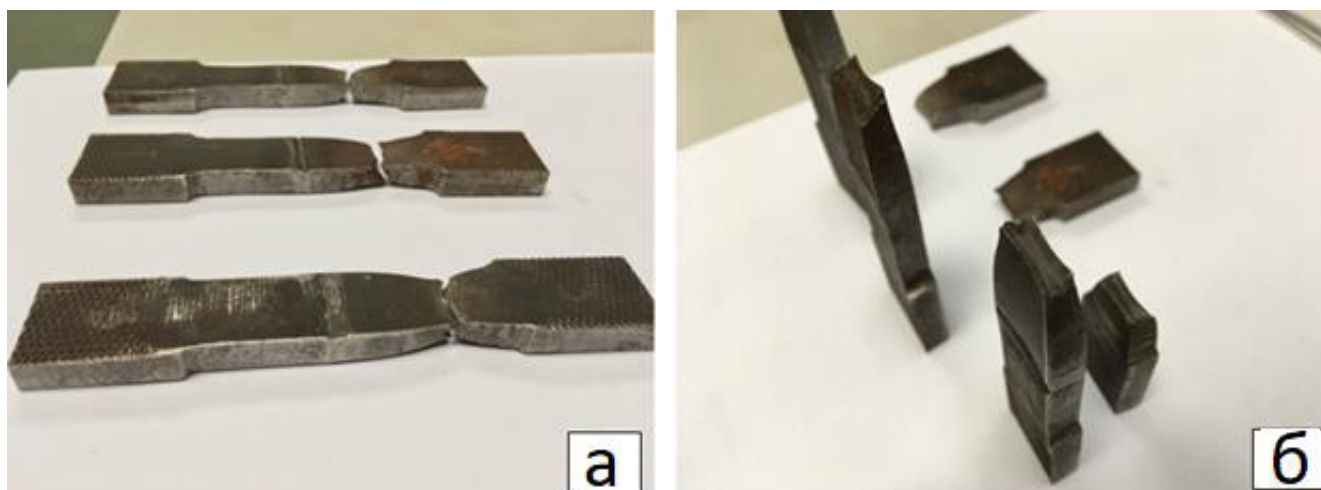


Рисунок 8. Вид сваренных образцов после испытания на статическое растяжение (а), вид поверхности разрушения (б).

больше, чем требуется для создания ванны расплава, часть расплавленного металла вытекает внутри трубы. Атмосфера воздуха, содержащегося внутри трубы, контактирует с жидким металлом, образуя сферические пустоты внутри шва. На рисунке 8а,б показаны пустоты, формируемые в сварном шве.

Такие пустоты появляются в том случае, когда при втором проходе в процессе наплавки проволоки поверх шва мощности лазера оказывается недостаточно. Проволока незначительно расплавляется, и вследствие низкой жидкотекучести металла происходит нарушение сплошности сварного шва, в результате чего могут появляться пустоты между двумя швами, как показано на рисунке 7а. Увеличение мощности привело к полному расплавлению проволоки. После увеличения мощности на втором проходе пустоты отсутствуют, что видно на рисунке 7б. После устранения всех выявленных дефектов был получен сварной шов с постоянной величиной валика и отсутствием внутренних дефектов (рисунок 7б).

Усредненное значение предела прочности при испытании образцов на растяжение по результатам растяжения трех образцов при скорости подачи проволоки 2,2 мм/с составило 655 МПа при среднем значении предела прочности для основного металла 661 МПа. При этом разрушение образца, полученного при оптимальном сочетании параметров, произошло в околошовной зоне, по основному металлу. По характеру излома можно установить, что причиной разрушения явились преимущественно касательные напряжения. В значительной степени оказывает влияние на степень проплавления присадочного материала (проволоки), что в результате влияет на получение качественного сварного шва, скорость подачи проволоки и положение фокусного пятна на поверхности ванны

расплава. Появление незначительной пористости в сварном шве приводит к формированию высокой концентрации напряжений, что влечет за собой разрушение металла по месту сварки, а именно – по сварному шву. В данном случае прочность такого сварного соединения в 1,2 раза уступает прочности основного металла.

В нашем случае, при соблюдении рекомендаций, предложенных в работе, значение предела прочности при разрыве усредненном значении трех образцов со швом оказалось на 2 % меньше, чем значение прочности образцов без шва. При этом разброс значений при испытании не превышал 5 %. Вид образцов после разрушения в результате их испытаний на статическое нагружение (рисунок 8).

Преобразования микроструктуры в сварном шве и в околошовной зоне могут быть описаны классической теорией, которая может быть представлена схематически на рисунке 9.

Сварное соединение состоит из металла шва и основного металла, подвергшегося термическому воздействию [8]. При этом ширина структурных зон и зона термического влияния может отличаться от соответствующих параметров структурных зон, полученных методами дуговой сварки [10]. Фото шва с выделенными зонами и их твердостью показан на рисунке 10. Сварочный шов первого прохода (зеленая зона) состоит из расплавленного металла труб, перемешанного с проволокой. Наблюдается крупнозернистая литая структура, с большими пластинами, идущими в направлении от основного металла к центру шва. Твердость данной зоны составляет 370–421 HV₍₁₀₎.

Наплавленная проволока поверх основного шва (оранжевая зона). Данный слой состоит только из расплавленной проволоки и имеет твердость 280–313 HV₍₁₀₎.

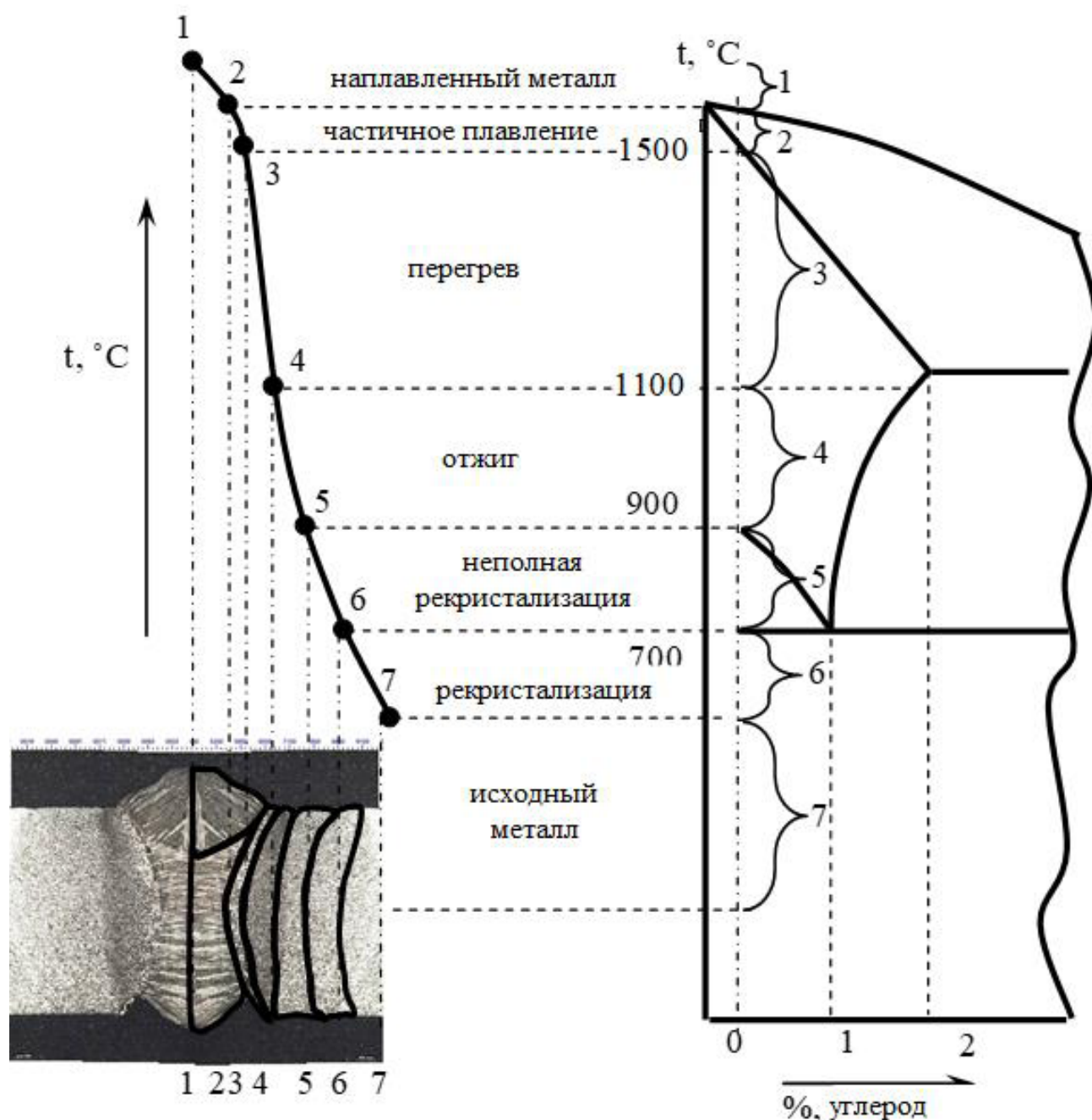


Рисунок 9. Образование шва и околошовной зоны.

Красная зона – материал трубы, который находился непосредственно в контакте с ванной расплава, но не получил достаточной температуры для перехода в жидкую фазу, а получил резкий нагрев с длительным воздействием, вследствие чего зерна металла выросли, получив упрочнение. Поэтому эти зоны обладают максимальной твердостью в шве 493–547 HV(10). Зона термического влияния (синяя зона) также получила сильный нагрев, и вследствие упрочнилась до 320–353 HV(10). Желтая зона претерпела наименьшее тепловое воздействие в процессе сварки, зерна увеличились в размере незначительно.

Твердость данной зоны составляет 257–310 HV(10). Белая зона – основной металл трубы, при этом ее твердость составила 210–232 HV(10). Усредненное значение по результатам растяжения трех образцов при скорости подачи проволоки 2.2 мм/с составило 655 МПа при среднем значении предела прочности для основного металла 661 МПа (рисунок 11).

При этом можно видеть, что разрушение образца, полученного при оптимальном сочетании параметров, произошло в околошовной зоне, по основному металлу. При этом по характеру излома можно установить, что причиной разрушения явились преимущественно

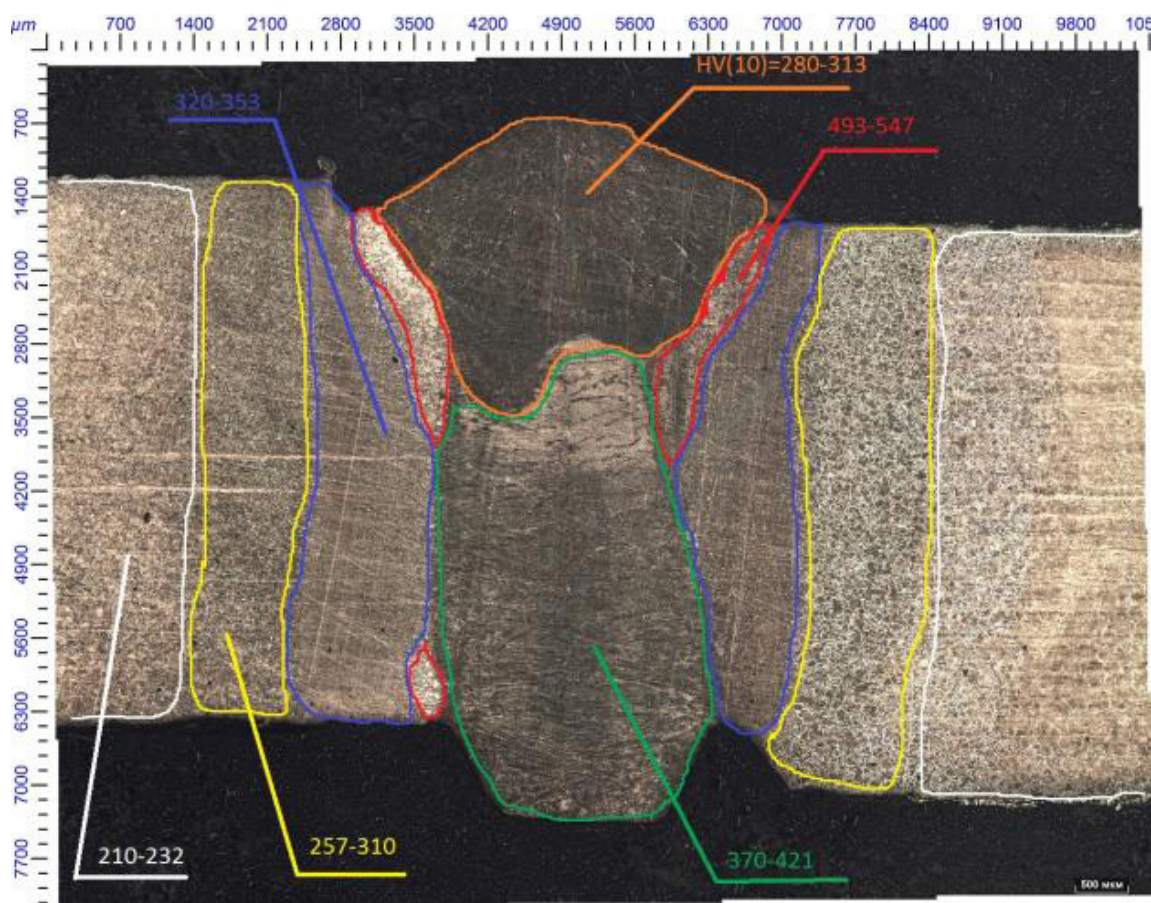


Рисунок 10. Изображение сварного соединения с указанием твердостей зон.

Образцы с 1 по 1

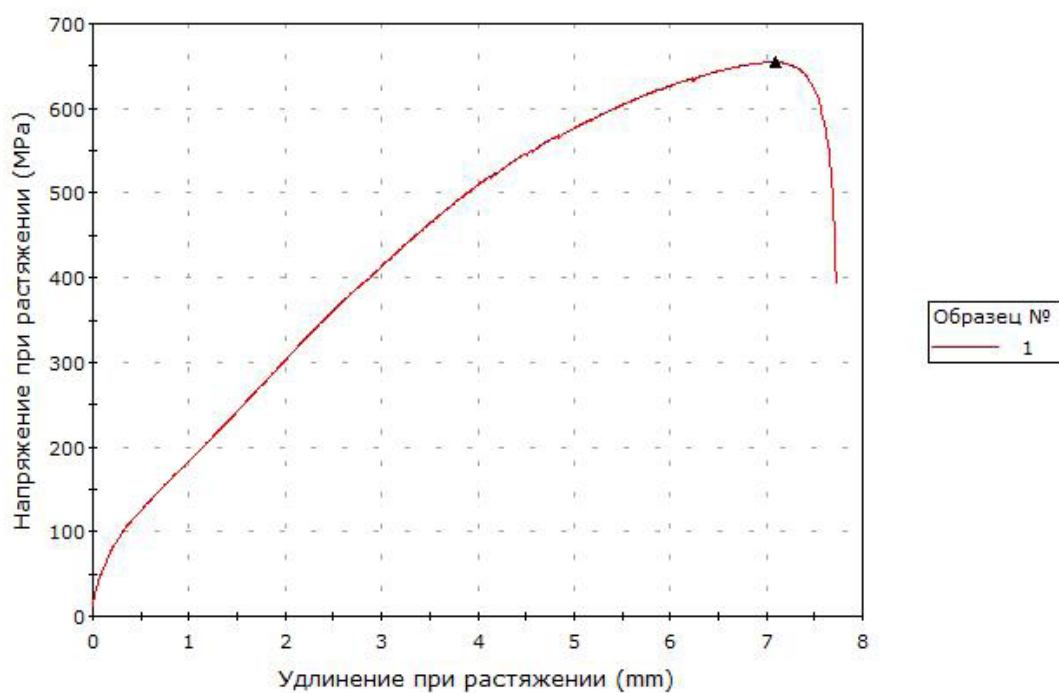


Рисунок 11. Среднее значение напряжений и деформации трех испытанных образцов из стали 09Г2С полученных методом лазерной сварки.

касательные напряжения. В значительной степени оказывает влияние на степень проплавления присадочного материала (проволоки), что в результате влияет на получение качественного сварного шва, скорость подачи проволоки и положение фокусного пятна на поверхности ванны расплава. Появление незначительной пористости в сварном шве приводит к формированию высокой концентрации напряжений, что влечет за собой разрушение сварного металла по месту сварки, а именно – по сварному шву. В данном случае прочность такого сварного соединения в 1,2 раза уступает прочности основного металла. В нашем случае, при соблюдении рекомендаций, предложенных в работе, значение предела прочности при разрыве усредненном значении трех образцов со швом оказалось на 2 % меньше, чем значение прочности образцов без шва. При этом разброс значений при испытании не превышал 5 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Показаны возможности технологии лазерной сварки труб с большими толщинами с применением присадочной проволоки. Сварку труб осуществляли в 2 прохода. Первый проход являлся основным, при котором осуществляется провар труб на всю толщину на высокой мощности. Второй – «залечивающий» проход, при котором проволока наплавлялась на шов для устранения усадки металла. Показано, что значение предела прочности при разрыве образцов со швом составило на 4 % меньше, чем значение в образцах без шва. Показано, что в корне шва происходит образование 7 основных структурных зон. При значениях фокусного расстояния $0 < \Delta f < 10$, $-10 < \Delta f < 0$ наблюдается стабильность процесса сварки и проплавление свариваемых заготовок на всю глубину. Ширина сварочной ванны при этом достигает 4 мм в ширине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патон, Б. Е. Автоматическая электродуговая сварка неповоротных стыков трубопроводов порошковой проволокой / Б. Е. Патон. – Текст: непосредственный // Автоматическая сварка. – 2002. – № 10. – С. 15–22.
2. Рыжов, Р. Н. Внешние электромагнитные воздействия в процессах дуговой сварки и наплавки / Р. Н. Рыжов, В. Д. Кузнецов. – Текст: непосредственный // Автоматическая сварка. – 2006. – № 10. – С. 36–44.
3. Григорьянц, А. Г. Гибридные технологии лазерной сварки: учебное пособие / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. М. Чирков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 52 с. – Текст: непосредственный.

4. Туричин, Г. А. Моделирование динамического поведения сварочной ванны при лазерной и гибридной сварке с глубоким проплавлением / Г. А. Туричин, Е. А. Валдайцева, Е. Ю. Поздеева. – Текст: непосредственный // Автоматическая сварка. – 2008. – № 7. – С. 15–19.
5. Кривцун, И. В. Модель испарения металла при дуговой, лазерной и лазерно-дуговой сварке / И. В. Кривцун. – Текст: непосредственный // Автоматическая сварка. – 2001. – № 3. – С. 3–10.
6. Кулик, В. М. Технологические особенности лазерной сварки среднеуглеродистой легированной стали / В. М. Кулик, В. Д. Шелягин, М. М. Савицкий. – Текст: непосредственный // Автоматическая сварка. – 2012. – № 6. – С. 11–14.
7. Григорьянц, А. Г. Лазерная сварка металлов: учебное пособие / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов. – М.: Высшая школа, 1988. – 207 с. – Текст: непосредственный.
8. Григорьянц, А. Г. Технологические процессы лазерной обработки: учебное пособие / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 664 с. – Текст: непосредственный.
9. Gorunov, A. I. Investigation of microstructure and properties of low-carbon steel during ultrasonic-assisted laser welding and cladding / Gorunov, A.I., Nyukhlaev, O.A., Gilmutdinov, A.K. // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2018. – V. 99. – N. 9–12. – P. 2467–2479.
10. Gilmutdinov, A.K., Investigations of the sound frequency effect on laser acoustic welding of stainless steel/ Gilmutdinov, A.K., Gorunov, A.I., Nyukhlaev, O.A., Schmidt, M. // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2020. – V. 106. – P. 3033 – 3043



ПОЛУЧЕНИЕ ПЕНОАЛЮМИНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПОРОФОРА

Лاپин Илья Владимирович,
Казанский национальный исследовательский
технологический университет
Казань, Россия
E-mail: 89003222142@mail.ru

Гильмутдинов Ильфар Маликович,
доктор технических наук, профессор,
Казанский национальный исследовательский
технологический университет
Казань, Россия

Предмет исследования: порообразователь в виде порошка природного CaCO_3 для получения качественно-го пеноалюминиевого материала.

Цель исследования: подбор оптимального вида порофора как порообразующего элемента и получение пеноалюминия со специальными функциональными свойствами.

Методы и объекты исследования: при исследовании газообразующих свойств было проведено определение остаточных веществ и термической стабильности порофора термогравиметрическим анализатором ТГ-ДТГ, ДСК. Рассмотрены процессы получения на экспериментальной установке спекаемых в защитной среде образцов пеноалюминия. Объектом исследования являются полученные порошки CaCO_3 , а также определение физико-механических свойств образцов пеноалюминия.

Основные результаты исследования: получение пеноалюминия со специальными функциональными свойствами с введением порошкового порообразователя CaCO_3 . Подбор оптимальной составляющей количества вводимого порошкового порофора в металлическую матрицу вещества, исходя из физических свойств полученного материала.

Ключевые слова: пеноалюминий, порообразователь, микроструктура, пористость, прочность, демпферные свойства.

PRODUCTION OF ALUMINUM FOAM USING AN ALTERNATIVE POROPHORE

Ilya V. Lapin
Kazan National Research Technological University
Kazan, Russia
E-mail: 89003222142@mail.ru

Ilfar M. Gilmutdinov
Doctor of Technical Sciences, Professor
Kazan National Research Technological University
Kazan, Russia

Subject of research: blowing agent in the form of natural CaCO_3 powder to obtain high-quality aluminum foam material.

Purpose of research: selection of the optimal type of foam as a pore-forming element and production of aluminum foam with special functional properties.

Methods and objects of research: when studying the gas-forming properties, the residual substances and thermal stability of the powder were determined using a thermogravimetric analyzer TG-DTG, DSC. The processes of obtaining aluminum foam samples sintered in a protective environment on an experimental installation are considered. The object of research is the resulting CaCO_3 powders, as well as the determination of the physical and mechanical properties of aluminum foam samples.

Main results of research: production of foamed aluminum with special functional properties with the introduction of powder blowing agent CaCO_3 . Selection of the optimal component of the amount of powder injected into the metal matrix of the substance, based on the physical properties of the resulting material.

Keywords: aluminum foam, blowing agent, microstructure, porosity, strength, damping properties.

ВВЕДЕНИЕ

В порошковой металлургии используют различные порошки металлов необходимого качества, и они имеют широкий спектр свойств, зависящих не только от дисперсности и формы частиц (от нитевидных до сферических), но и от получения их путем восстановления оксидов и солей, электролитического осаждения металлов, механическим методом (измельчение резанием, размол, распыление) и многими другими. В выборе металлических порошков для конкретных изделий учитывается их прессуемость (формуемость), пиррофорность и токсичность [1].

Функциональные свойства конкретного пеноматериала (пеноалюминия), такие как низкая плотность в сочетании с повышенной жесткостью, позволяют возводить долговечные и устойчивые конструкции. Пеноалюминий – биостойкий (не поддается гниению),

имеет низкий показатель гигроскопичности. Демпферные свойства подходят для использования ударопрочных бамперов, плит, перегородок, в конструкциях и устройствах, способных поглощать сильные механические воздействия. Минимальный вес конструкций позволяет использовать пеноалюминий в конструировании космических объектов [2].

Звуко-, шумо-, вибропоглощающие свойства и защита от электромагнитного излучения позволяют использовать пеноалюминий в различных ограждающих конструкциях, как стеновых, так и потолочных [3].

Пенометалл (пеноалюминий) также можно использовать в качестве наполнения полых профилей из металла, увеличивая жесткость конструкции. Обладая высокой эстетикой наряду с нетоксичностью, легкостью, огнестойкостью и коррозионной стойкостью, пеноалюминий подходит для отделки фасадов, кабин лифтов и др. [3].



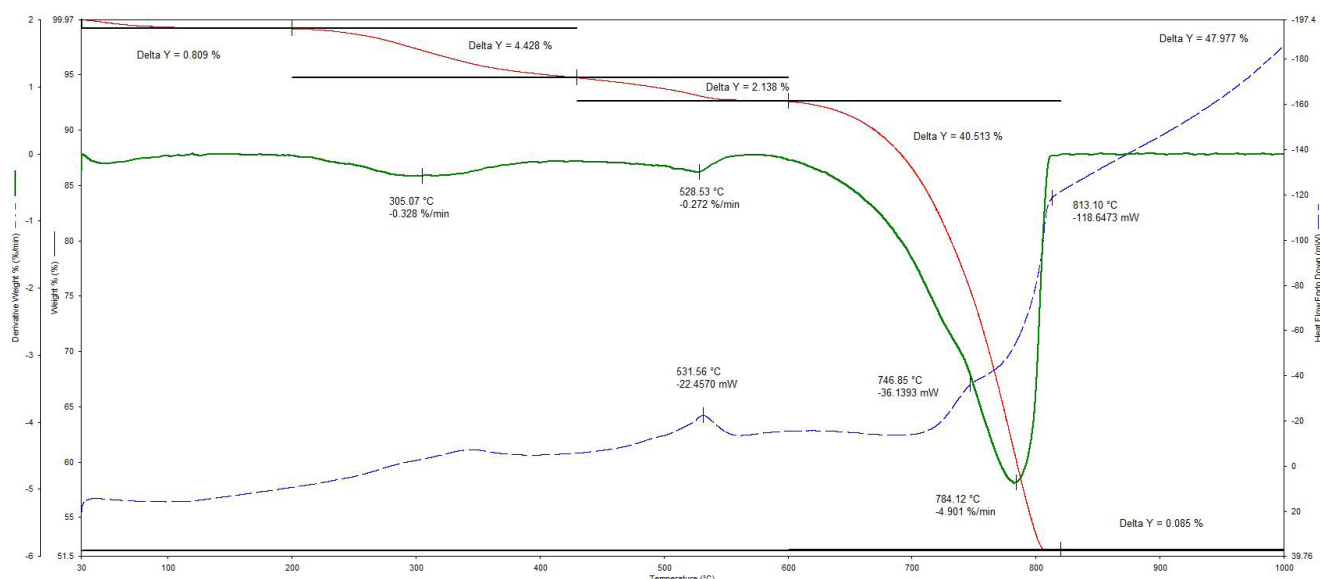


Рисунок 1. Термоаналитические кривые ТГ-ДТГ, ДСК порошка птичьих яиц в виде CaCO_3 .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для получения пеноалюминиевого образца используются порошки алюминия, а в качестве порофора – порошок скорлупы птичьих яиц в виде CaCO_3 (патент № 2801169 Лапин И. В.). По данным химического и анализа ТГА (рис. 1), в первую очередь по температуре разложения и объему порообразующих выделений подбирается вид применяемого порофора. Экспериментально подбирается количественное соотношение основы и порофора, тип смешивающего устройства. Исходя из научных данных, выбирается усилие прессования и проводится одноосное холодное прессование смешанных порошков в пресс-формах. Далее в собственно изготовленной экспериментальной установке проводится спекание прекурсоров индукционным нагревом в защитной среде аргона. После охлаждения снимаются физические показатели полученных образцов, такие как размерность, плотность, пористость и др.).

Термоаналитические кривые ТГ-ДТГ, ДСК представленного порофора в виде CaCO_3 (рис. 1), где горизонтальная ось координат показывает температурные интервалы (°C), вертикальные оси координат (слева направо) – производная веса (%/мин); масса (%); тепловой поток, соответствующий эндотермическому разложению (мВт).

При разложении представленного порофора в виде CaCO_3 выделенная тепловая энергия резко повышает температуру порошкового вещества, соответственно, требуются меньшие энергетические затраты для нагрева образца [1].

Величиной, определяющей физические свойства пеноалюминия, является его

плотность и пористость (объем порового пространства), исчисляемая по формуле:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho}\right) \cdot 100$$

где P – пористость в %, ρ_o – плотность готового (спеченного) материала, ρ – плотность литого материала.

Плотность пенометалла (г/см^3) определялась стандартным способом по формуле:

$$\rho_o = m/V$$

где m – масса образца, V – объем образца.

Физические характеристики образцов пеноалюминия с предложенным порофором в виде CaCO_3 закономерно зависят от количества вводимого порошкового порообразователя (таблица 1), и в дальнейшем существенно влияют на структуру и механические свойства полученного композиционного изделия [4].

На графике (рисунок 2) видны максимальные значения пористости пеноалюминиевых образцов с порошковым порофором CaCO_3 при отношениях как спекаемых образцов к спрессованным, так и спекаемых образцов к литым, и имеют пористость 25,42 % и 40 % соответственно.

Исходя из полученных экспериментальных данных, для получения качественного пеноалюминия оптимальное количество порофора CaCO_3 по массе должно содержать 8–12 %. Уменьшение массового процентного содержания порофора CaCO_3 ведет к увеличению плотности пеноалюминия и уменьшению пористости полученного образца.

Количество порофора 8–12 мас. % является оптимальным для получения однородной пористой структуры и стабильности размеров полученного материала (потери формы).

Таблица 1. Характеристики образцов с различной массовой долей порофора CaCO_3 .

№ образца пеноалюминия	Количество порофора, % масс	Плотность образца после прессования, гр/см ²	Плотность образца после спекания, гр/см ²	Пористость образца, относительно спрессованн. компакта, %	Пористость образца, относительно литой матрицы, %
1	3	2.3	1.97	13,17	28,5
2	5	2.389	1.982	17	26,5
3	8	2.172	1.62	25,42	40
4	10	2.33	2.012	13,8	25,4
5	15	2.4	1.96	18,3	27,4
6	20	2.36	1.99	15,6	26,3

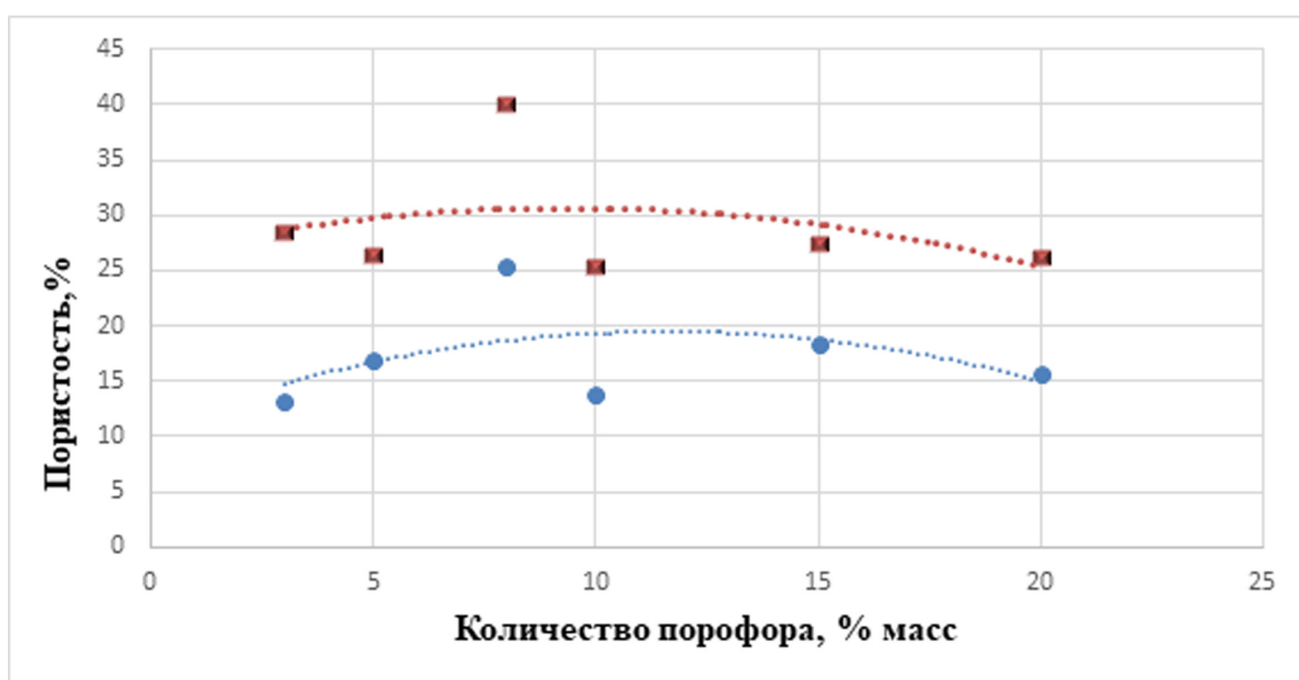


Рисунок 2. График зависимости пористости образцов пеноалюминия от массовой доли порофора CaCO_3 (нижний график – плотность спекаемого от плотности спрессованного, верхний – плотность спекаемого от плотности литого).

При содержании порофора в количестве меньше 8 % значительно падают показатели пористости образцов, соответственно, уменьшаются размеры пор, что радикально влияет на характеристики энергопоглощающих свойств пенометаллических изделий.

Спекание спрессованных образцов порошка алюминия и порофора представлено (рисунок 3) на схеме экспериментальной установки для спекания.

Аргоновый газ из баллона 1 подается в кварцевый реактор 4 установки, в котором установлен графитовый тигель с прекурсором 5. Снятие показаний температур нагрева производится встроенными хромель-алюмелевыми термопарами и выводится на аналоговый контроллер 6. Далее защитный

газ поступает в стеклянную емкость 12, затем в емкость с водой 13. Генератор индукционного нагревателя 7 посредством катушки индуктора осуществляет нагрев образца путем превращения электромагнитных волн в тепловую энергию. Блок индукционного нагревателя охлаждается вентилятором 8, а катушка индуктора имеет водяное охлаждение посредством циркуляционной перекачки насосом 9.

Питание и регулировка параметров (силы тока, напряжения) блока генератора осуществляется индивидуальным источником питания 10.

Для проведения расчетов энергопоглощающих элементов конструкций необходимо знать упруго-пластические свойства

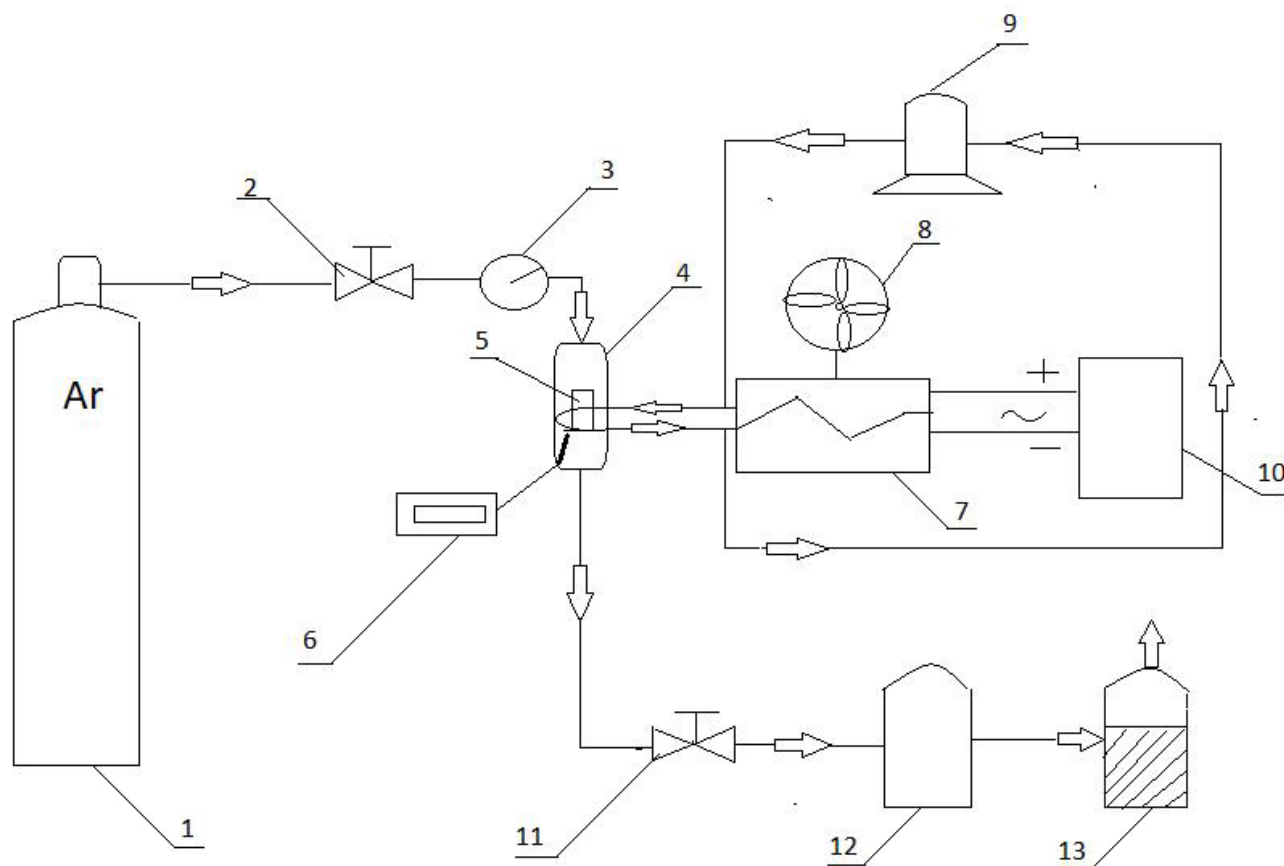


Рисунок 3. Схема установки для спекания сформованных образцов: 1 – баллон с аргоном; 2, 11 – запорные вентили; 3 – манометр; 4 – кварцевый реактор; 5 – графитовый тигель с образцом; 6 – устройство для фиксации показателей температур; 7 – блок генератора индукционного нагревателя; 8 – вентилятор охлаждения; 9 – насос гидравлический; 10 – индивидуальный источник питания; 12 – емкость; 13 – емкость с жидкостью.

пеноалюминия, и при оптимизации элементов требуется иметь зависимость характеристик деформирования пеноалюминия от его плотности [5].

Применение карбонатов в качестве порофоров дополнительно обосновано способностью некоторых металлов поглощать водород, что, в свою очередь, делает применение гидридов неэффективным. Данную особенность можно наблюдать у магния (Mg), который обладает способностью поглощать водород, поэтому CaCO_3 и MgCO_3 являются более подходящими вспенивающими веществами для получения пеноалюминия и пеномагния [6].

Также к факторам выбора карбонатов относятся исследования, которые показали, что при использовании гидридов в качестве порообразователей образуются хрупкие интерметаллические соединения, которые влияют на пластичность материала, и из-за этого взаимодействия способность пенометалла поглощать энергию снижается. Например, при получении пеноалюминия с использованием TiH_2 в качестве порофора образуется интерметаллид Al_3Ti , который является хрупким

соединением, снижающим пластичность стенок ячеек и ударную вязкость пенометалла. Следовательно, способность пенометаллов, полученных с помощью TiH_2 , к поглощению энергии ниже, чем у пенометаллов, полученных с помощью CaCO_3 , образующих комбинацию Al и Al_4Ca , которая является менее хрупкой и не влияет на прочность [7-8]. Также применение представленного порофора в виде CaCO_3 , по сравнению с гидридом титана, выигрывает по себестоимости (т. к. гидрид титана стоит 5000 руб./кг, яичная скорлупа, даже молотая – 50-120 руб./кг).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОоды

Получение пористой структуры алюминия обосновано введением порошкового порообразователя – скорлупы птичьих яиц в смесь, холодное прессование и спекание до получения пенометалла со специальными свойствами. Сочетание специальных свойств пеноалюминия увеличивает реестр применения его в различных областях производства [9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапин, И. В. Повышение эффективности в использовании малозатратных порофоров для получения новейших материалов / И. В. Лапин, В. В. Жилияков, Г. А. Аминова, И. В. Вишнякова. – Текст: непосредственный // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. – Казань, 2020. – № 1. – С. 56–62.
2. Лапин, И. В. Механизмы стабилизации металлических пен и формирование пористой металлической структуры / И. В. Лапин, В. В. Жилияков. – Текст: непосредственный // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. – Казань, 2020. – № 3. – С. 80–84.
3. Шанин, Д. Н. Пенометалл: структура, технологии получения, применение в области строительства / Д. Н. Шанин. – Текст: непосредственный // Научный журнал «Полиматис». – 2016. – № 1. – С. 59–63.
4. Лапин, И. В. Новые модификации металлов в современном производстве / В. Г. Кузнецов, Г. А. Аминова. – Текст: непосредственный // Известия КГАСУ. – 2017. – № 3(41). – С. 188–195.
5. Бутарович, Д. О. Пеноалюминий как энергопоглощающий материал и его механические свойства / Д. О. Бутарович, А. А. Смирнов, Д. М. Рябов. – Текст: непосредственный // Машиностроение. – 2011. – № 7. – С. 53–58.
6. X. Xia, W. Zhao, X. Feng, H. Feng, and Xin Zhang, “Effect of homogenizing heat treatment on the compressive properties of closed-cell Mg alloy foams” // Materials and Design, vol. 49, pp. 19–24, 2013.
7. A. V. Byakova, S. V. Gnyloskurenko, and A. I. Sirko, “The role of foaming agent in structure and mechanical performance of Al based foams” // Materials Transactions, vol. 47, pp. 2131–2136, 2016.
8. Banhart J, Ashby MF, Fleck N. Cellular Metal and Metal foamingtechnology. Germany: Verlag MIT; 2001, – 169p.
9. Lapin I., Zhilyakov V., Kharitonova O., Bronskaya V., Askarova R., Vishnyakova I. Relevance of selective sampling of foaming agents for the production of porous metals / „Proceedings of the II International Conference on Advances in Materials, Systems and Technologies, CAMSTech-II 2021“ 2022. – P. 020030.



ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА АРДС ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, АРМИРОВАННЫХ ВЫСОКОДИСПЕРСНОЙ ФАЗОЙ КАРБИДА ТИТАНА, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВО-МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Шерина Юлия Владимировна,
аспирант,
Самарский государственный
технический университет
Самара, Россия
E-mail: yulya.makhonina.97@inbox.ru

Луц Альфия Расимовна,
кандидат технических наук, доцент
Самарский государственный
технический университет
Самара, Россия

Богатов Максим Валерьевич,
инженер,
ООО «Научно-производственный центр Самара»
Самара, Россия

Голубовский Евгений Николаевич,
заместитель главного металлурга,
ОАО «Металлист-Самара»
Самара, Россия

Предмет исследования: возможности применения метода аргонодуговой сварки (АРДС) для получения неразъемных соединений композиционных материалов AMg2-10%TiC и AMg6-10%TiC.

Цель исследования: получение сварных соединений методом аргонодуговой сварки неплавящимся электродом на основе алюмоматричных композиционных материалов AMg2-10%TiC и AMg6-10%TiC с использованием присадочного прутка марки 5356 и сравнение структуры и свойств сварных образцов АМКМ со сварными образцами матричных сплавов AMg2 и AMg6, полученных по одинаковым режимам.

Методы исследования: проведены исследования по контролю видимых и скрытых дефектов, металлографический анализ, а также оценка механических свойств сварных соединений. Установлено, что уровень свариваемости методом АРДС композиционных материалов AMg2-10%TiC и AMg6-10%TiC находится на уровне свариваемости АРДС матричных сплавов AMg2 и AMg6.

Основные результаты исследования: показано, что при использовании метода АРДС возможно дислоцирование армирующих частиц карбида титана в композиционных материал AMg2-10%TiC и AMg6-10%TiC из зоны основного металла в зону термического влияния, а также зону сварного шва. Установлено, что наличие сварного соединения в композиционном материале AMg2-10%TiC приводит к повышению твердости и предела текучести.

Ключевые слова: аргонодуговая сварка, композиционный материал, механические свойства.

POSSIBILITY OF APPLICATION OF THE ARDS METHOD FOR OBTAINING PERMANENT JOINTS OF COMPOSITE MATERIALS REINFORCED WITH HIGHLY DISPERSED PHASE OF TITANIUM CARBIDE OBTAINED ON THE BASIS OF ALUMINUM-MAGNESIUM ALLOYS

Yulia V. Sherina
Post-graduate Student,
Samara State Technical University
Samara, Russia
E-mail: yulya.makhonina.97@inbox.ru

Alfiya R. Lutz
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Samara State Technical University
Samara, Russia

Maxim V. Bogatov
Engineer of I category,
LLC Scientific and Production Center Samara,
Samara, Russia

Evgeny N. Golubovskiy,
Deputy Chief Metallurgist,
OJSC Metallist-Samara
Samara, Russia

Subject of research: the evaluation of the possibility of using the argon arc welding method (ARWM) to obtain unbreakable joints of composite materials AMg2-10%TiC and AMg6-10%TiC.

Purpose of research: obtaining welded joints by argon-arc welding with a non-consumable electrode based on aluminum matrix composite materials AMg2-10%TiC and AMg6-10%TiC using filler rod grade 5356 and comparing the structure and properties of АМКМ welded samples with welded samples of AMg2 and AMg6 matrix alloys obtained using the same methods modes.

Methods of research: studies were carried out to control visible and hidden defects, metallographic analysis, as well as an assessment of the mechanical properties of welded joints. It has been established that the level of ARDS weldability of composite materials AMg2-10%TiC and AMg6-10%TiC is at the level of ARDS weldability of matrix alloys AMg2 and AMg6.

Main results of research: it is shown that when using the ARDS method it is possible to dislocate reinforcing particles of titanium carbide in composite materials AMg2-10%TiC and AMg6-10%TiC from the base metal zone to the heat affected zone as well as to the weld zone. It was found that the presence of welded joint in composite material AMg2-10%TiC leads to an increase in hardness and yield strength.

Keywords: argon-arc welding, composite material, mechanical properties.



ВВЕДЕНИЕ

Наиболее перспективным способом повышения механических характеристик традиционных алюминиевых сплавов является введение в их состав армирующей фазы, в качестве которой чаще всего используют керамические соединения – оксиды, карбиды, нитриды, бориды и т. д. [1, 2]. Для алюминиевой матрицы наиболее подходящей фазой является карбид титана, имеющий максимально близкие к алюминию параметры кристаллической решетки и обладающий высокой твердостью, модулем упругости, низкой плотностью и хорошей смачиваемостью [3, 4]. Наиболее распространенным способом получения таких алюмоматричных композиционных материалов (АМКМ) является метод механического замешивания частиц в расплав алюминия, однако такой подход исключает возможность получения фазы карбида титана высокой дисперсности, поскольку вводимые частицы склонны к агломерированию, а также зачастую содержат примесные адсорбированные соединения, которые препятствуют полноценному усвоению в расплаве. Учитывая перечисленные выше факторы, наиболее целесообразным вариантом является формирование дисперсных частиц карбида титана непосредственно в расплаве, из исходных элементных порошков титана и углерода или их соединений [5-7]. Данная технология, основанная на методе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), разработана и применяется на кафедре «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» Самарского государственного технического университета. По результатам проведенных исследований уже была показана возможность успешного синтеза композиционных материалов составов Al-10%TiC, Al-5%Cu-10%TiC, Al-5%Cu-2%Mn-10%TiC и др., отличающихся повышенными механическими характеристиками [8, 9].

Обзор современных публикаций показал, что наблюдается устойчивая тенденция по армированию фазой карбида титана промышленных сплавов [10]. Например, в исследовании [11] в состав алюминиевого сплава 2014 вводилась легатура Al-10%TiC, что способствовало увеличению прочности со 118 до 147 МПа, а твердости – с 61 до 94 HV. В работе [12] методом механического замешивания был получен композиционный материал на основе сплава АМг1, содержащий 5 масс.% SiC. Увеличение прочностных характеристик алюминиево-магниевого сплава чрезвычайно актуально, поскольку они широко используются благодаря невысокой стоимости, хорошей деформируемости, коррозионной стойкости

и свариваемости, но при этом не отличаются прочностью [13]. Сплавы серии АМг дополнительно упрочняют с помощью пластической деформации, однако применение наклепа приводит к снижению пластичности, поэтому окончательным этапом является проведение отжига, который предназначен для частичного или полного снятия деформационного упрочнения, в результате чего наблюдается снижение прочности [14, 15]. На основании полученных данных, по результатам литературного обзора на кафедре «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» были проведены исследования по получению методом СВС композиционных материалов АМг2-10%TiC и АМг6-10%TiC. В работах [16, 17] показана возможность синтеза АМКМ АМг2-10%TiC и АМг6-10%TiC с повышенными характеристиками твердости, микротвердости и прочности.

Сплавы АМг2 и АМг6 относят к сплавам, подвергаемым сварке методом АРДС. Однако следует отметить, что процесс дуговой сварки АМКМ сопровождается такими проблемами, как: неблагоприятное влияние армирующей фазы на поведение дугового разряда; перераспределение армирующей фазы в сварном шве; растворение армирующей фазы в сварочной ванне; низкая текучесть ванны композиционного материала [18–20]. В работе [21] отмечается, что использование дуговой сварки с присадочным материалом позволяет снизить искажение дуги, вызванное присутствием армирующей фазы карбида кремния. В работах [18, 19] проводились исследования сварки неплавящимся электродом в среде аргона литых АМКМ, армированных частицами SiC, Al₂O₃, Si₃N₄. Установлено, что керамический наполнитель сохраняется в металле шва, однако его распределение в матрице зависит от режимов сварки. Также отмечается, что твердость сварных швов оказывается выше твердости исходного АМКМ. Авторами работы [22] отмечается, что при сварке неплавящимся электродом пластин АМКМ 76x40x9 мм полученные швы характеризовались большой пористостью и появлением горячих трещин. Интенсивное порообразование при аргонодуговой сварке АМКМ также подтверждается в работах [18, 19]. В работе [23] при АРДС КМ АЛ25+18%SiC установлено, что сварочная ванна имеет большую вязкость в связи с наличием частиц армирующей фазы. Однако проблема недостаточной жидкотекучести может быть устранена применением присадочных материалов. Например, в работе [23] проводили дуговую сварку композиционного материала АМг5+12%SiC толщиной 3 мм с использованием присадочной проволоки марки 5356,

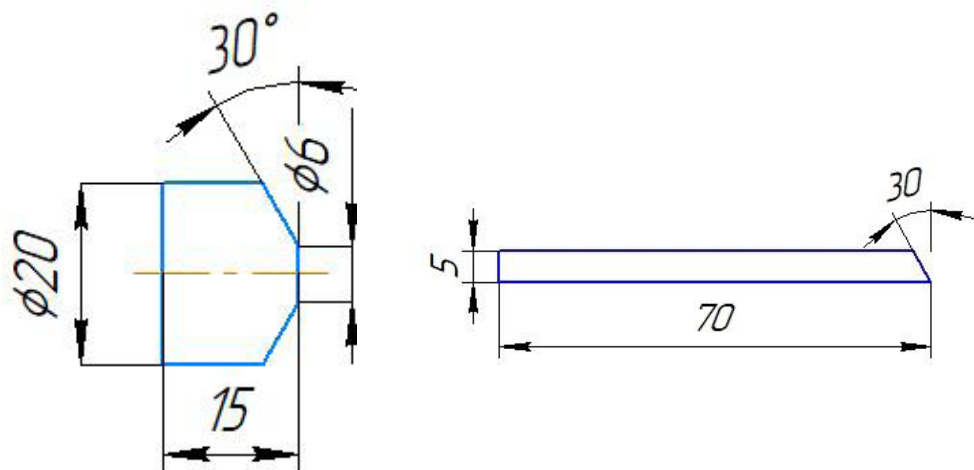


Рисунок 1. Вид сварных образцов, подготовленных под сварку методом TIG: а) цилиндрические образцы; б) пластины.

Таблица 1. Химический состав присадочного прутка марки 5356.

Марка	Содержание элемента, масс. %							
	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ti	Zn
5356	основа	0,05-02	0,05	0,25	4,5-5,5	0,1-0,2	0,06-0,2	0,1

Таблица 2. Режим просвечивания при радиографическом контроле.

Параметр	Значение
Напряжение на трубке	70 В
Сила тока на трубке	7 А
Время просвечивания	12 сек
Расстояние до образца	75 см

рабочий ток сварки $I_{св} = 150$ А, $V_{св} = 10-12$ м/ч. В результате получены сварные соединения с полным проплавлением и нормальным формированием шва.

В связи с перечисленными проблемами и методами их решения, целью данной работы было поставлено получение сварных соединений методом аргонодуговой сварки неплавящимся электродом на основе алюмоматричных композиционных материалов АМг2-10%TiC и АМг6-10%TiC с использованием присадочного прутка марки 5356 и сравнение структуры и свойств сварных образцов АМКМ со сварными образцами матричных сплавов АМг2 и АМг6, полученных по одинаковым режимам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Методы и материалы

Методика получения композиционных материалов, армированных высокодисперсной фазой карбида титана на основе

промышленных сплавов АМг2 и АМг6, полученных методом СВС в расплаве, приведена в работах [16, 17]. Для исследования возможности получения неразъемных соединений композиционных материалов АМг2-10%TiC и АМг6-10%TiC методом АРДС были подготовлены два вида образцов в соответствии с ГОСТ 14806-80 (рисунок 1). Перед проведением сварки производилась зачистка поверхности образцов путем фрезерной обработки. В качестве присадочного материала использовался алюминиевый прутки марки 5356 (таблица 1). Для проведения сварочных работ был использован сварочный аппарат марки СЕВORA WIN TIG AC-DC 180М. Рабочий ток сварки на пластинах составлял 80-100 А, на цилиндрах – 20-40 А. Для выявления микроструктуры проводили травление образцов раствором 50% HF+50% HNO₃ в течение 10-15 сек. Металлографический и микрорентгеноспектральный анализы осуществляли на растровом электронном микроскопе Jeol JSM-6390А.

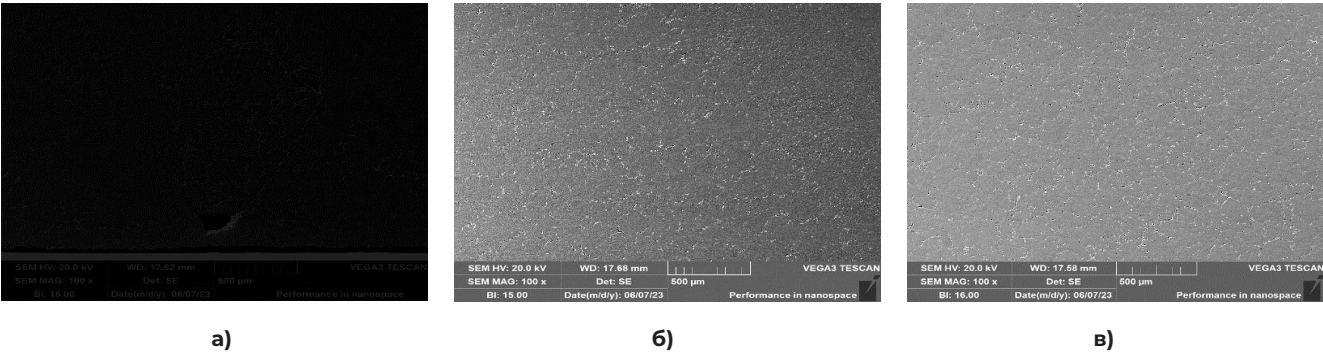


Рисунок 2. Микроструктуры сварного соединения АМг2: а) зона шва; б) зона термического влияния; в) зона основного металла.

Количество армирующей фазы в различных зонах сварных соединений оценивалось путем обработки изображений при помощи программы ImageJ. Оценка качества швов методами неразрушающего контроля производилась в соответствии с ГОСТ ISO 17635-2018, ГОСТ ISO 17636-1-2017, ГОСТ Р ИСО 6520-1-2012. Радиографический контроль сварных соединений (ГОСТ 7512-86) производился на аппарате марки РУП 150/300, режим просвечивания представлен в таблице 2. Для контроля соединений из алюминиевых сплавов применялась промышленная рентгеновская пленка KODAK 7200 ASTM E 1815-18 класс I мелкозернистой структуры с повышенной контрастностью. Для измерения изображений дефектов размером до 1,5 мм применяли измерительную лупу (ГОСТ 25706-83), а для дефектов более 1,5 мм – прозрачную измерительную линейку. Оценка механических свойств сварных соединений производилась по ГОСТ 57180-2016. Измерение твердости сварных соединений

проводилось по Бринеллю (НВ) на твердомере ЗИП ТК-2М по методу Бринелля (ГОСТ 9012-59): установленная нагрузка 100 кгс, диаметр шарика 2,5 мм, время нагружения 20 сек. Испытания на растяжение проводились на разрывной машине Inspekt 200 на образцах, вырезанных поперек сварного шва, по ГОСТ Р ИСО 4136-2009. Испытания на одноосное сжатие осуществлялись на испытательной машине Instron 5988 по ГОСТ 25.503-97 на образцах III типа. Испытания на статический изгиб проводились в соответствии с ГОСТ 6996-66 (ИСО 4126-89) на образцах, вырезанных поперек шва. Оценка коррозионной стойкости сварных соединений производилась в среде (ГОСТ 58346-2019): водный раствор 5 % NaCl, газовая фаза 1 МПа CO₂, 0,5 МПа H₂S, 3,5 МПа N₂. Температура испытаний составляла 80 °С, длительность – 240 часов, общее давление – 5 МПа. Результаты микроструктурного и микро-рентгеноспектрального анализов сварных образцов приведены на рисунках 2-7.

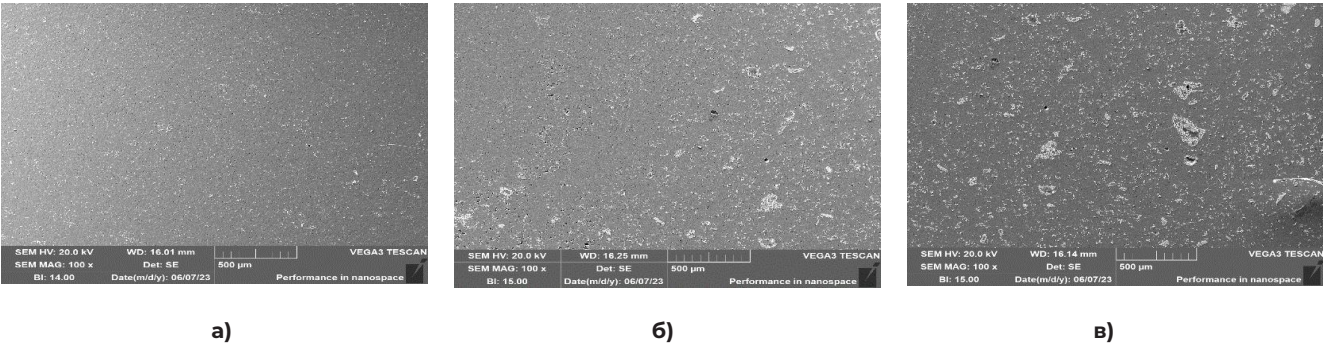
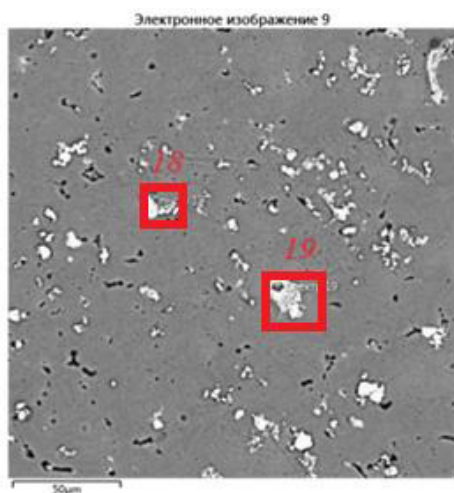


Рисунок 3. Микроструктуры сварного соединения АМг2-10%TiC: а) зона шва; б) зона термического влияния; в) зона основного металла.

Таблица 3. Распределение армирующей фазы TiC в различных зона сварного соединения.

АМг2-TiC	Зона сварного шва	Зона термического влияния	Зона основного металла
	5%	7%	9%



Номер маркера	Содержание элемента, масс. %			Предполагаемая фаза
	Al	Ti	C	
18	1,03	81,58	17,39	TiC, Al
19	2,88	77,12	20,00	TiC, Al

Рисунок 4. Микрорентгеноспектральный анализ сварного соединения АМг2-10%TiC в зоне шва.

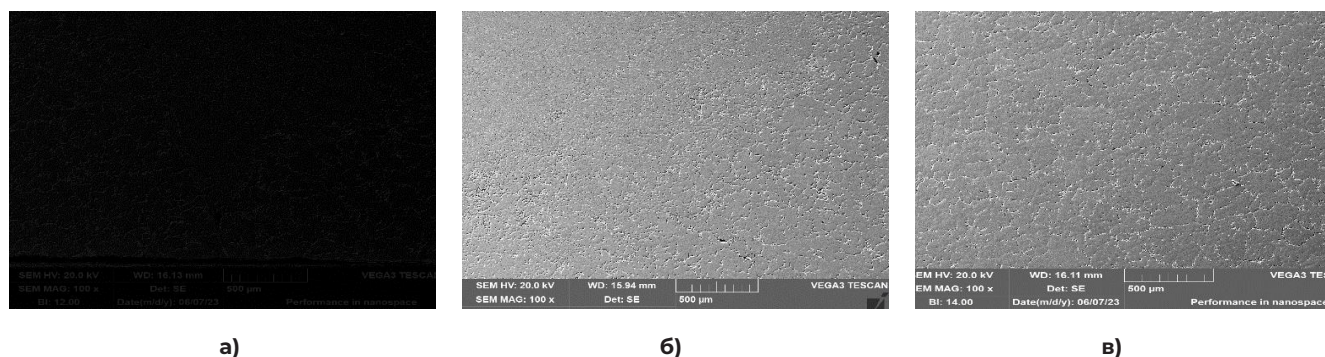


Рисунок 5. Микроструктуры сварного соединения АМг6: а) зона шва; б) зона термического влияния; в) зона основного металла.

Микроструктурный анализ сварного образца АМг2 показывает присутствие незначительной пористости в зоне шва, вызванной оплавлением зерен магния в результате воздействия высоких температур в процессе сварки и отсутствия нагартовки (рисунок 2, а).

Микроструктурный анализ сварного образца АМг2-10%TiC также показывает присутствие пор, однако их количество незначительно и присутствует в зоне термического влияния (рисунок 3б) и зоне основного металла (рисунок 3в). Присутствие пор в зоне основного металла вызвано активным газовыделением в процессе СВС и, по данным работы [16], составляет 1 %. Наличие пор в зоне термического влияния может быть связано с воздействием высоких температур в процессе сварки, а также образованием оксидов алюминия и магния. Также, по результатам микроструктурного анализа, армирующая фаза карбида титана присутствует во всех трех зонах, однако наибольшее количество расположено в зоне основного металла и убывает по мере приближения к зоне сварного шва, что подтверждается результатами работ [19, 20] и

отображено в таблице 3. Данное явление связано с тем, что в процессе кристаллизации сварочной ванны перераспределение армирующего наполнителя происходит вследствие оттеснения фронтом растущей твердой фазы в центральную часть шва.

По результатам микрорентгеноспектрального анализа (рисунок 4) в зоне сварного шва обнаружены элементы Al, Ti и C, что подтверждает присутствие армирующей фазы TiC в зоне сварного шва.

Микроструктурный анализ сварного образца АМг6, в отличие от сварного образца АМг2, показывает наличие пор во всех трех зонах (рисунок 5).

Микроструктурный анализ сварного образца АМг6-10%TiC также характеризуется наличием пор, однако их количество незначительно и присутствует в зоне термического влияния (рисунок 6б) и зоне основного металла (рисунок 6в). Присутствие пор в зоне основного металла вызвано активным газовыделением в процессе СВС и, по данным работы [17], составляет 1 %. Также по результатам микроструктурного анализа армирующая фаза карбида титана

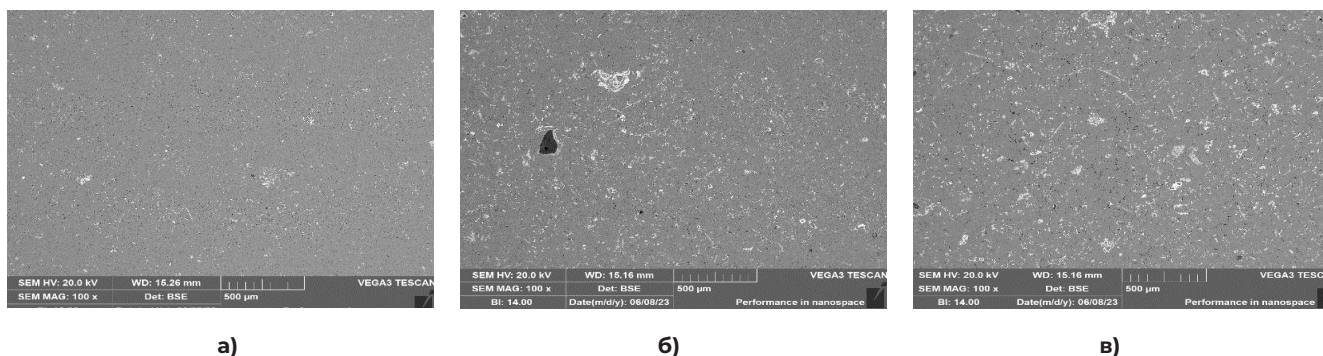
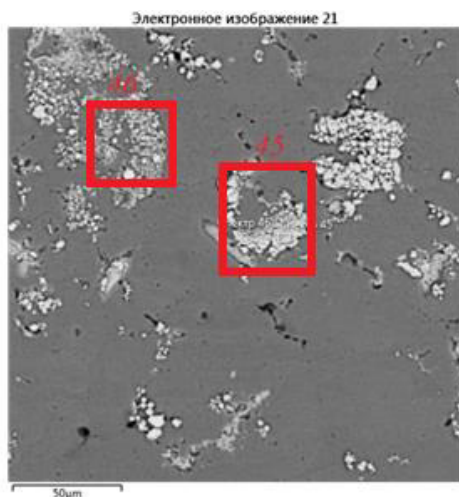


Рисунок 6. Микроструктуры сварного соединения АМг6-10%TiC: а) зона шва; б) зона термического влияния; в) зона основного металла.

Таблица 4. Распределение армирующей фазы TiC в различных зонах сварного соединения.

АМг6-TiC	Зона сварного шва	Зона термического влияния	Зона основного металла
	5%	7%	10%



Номер маркера	Элементов не менее, масс. %					Предполагаемая фаза
	Al	Ti	C	Mg	Mn	
45	0,75	81,09	18,15	-	-	TiC, Al
46	74,47	22,88	-	1,26	1,38	TiC, Al ₁₀ (MgMn) ₃

Рисунок 7. Микрорентгеноспектральный анализ сварного соединения АМг6-10%TiC в зоне шва.

присутствует во всех трех зонах. Следует отметить, что наибольшее количество армирующего наполнителя располагается в зоне основного металла и уменьшается по мере приближения к сварному шву, что отражено в таблице 4.

По результатам микрорентгеноспектрального анализа (рисунок 7) в зоне сварного шва обнаружены элементы Al, Ti, C, Mg и Mn. Таким образом, подтверждается присутствие армирующей фазы TiC в зоне сварного шва.

Результаты визуально-измерительного контроля приведены в таблице 5.

Анализируя результаты ВИК, становится очевидно, что во всех образцах присутствует незначительное количество пор, однако их размер не превышает 1,2 мм, а занимаемая площадь – не более 10 %, что не окажет негативного влияния на механические свойства неразъемных соединений [25].

Результаты радиографического контроля представлены на рисунке 8.

По результатам РК выявлено два типа дефектов: поры и непровары. Поры располагаются преимущественно в корне шва, а их средний размер составляет не более 1 мм. Так как суммарная площадь пор составляет не более 5 % от площади сечения шва, то данный дефект не оказывает негативного влияния на статическую прочность сварных соединений. Следует отметить, что поры в АМКМ располагаются преимущественно в центральной зоне сварного шва и имеют размер менее 100 мкм, что подтверждается результатами работы [22]. Также во всех образцах присутствует скрытый дефект – непровар. Протяженность непроваров составляет 1/3 образца (~20 мм), однако в образцах АМг2 и АМг6-10%TiC непровар наблюдается по всей длине шва, что

Таблица 5. Результаты визуально-измерительного контроля.

Образец	Геометрические параметры шва, мм						
	Ширина шва	Выпуклость лицевой стороны	Выпуклость обратной стороны	Вогнутость корня шва	Глубина подреза	Глубина впадин	Размер пор
АМг2	9,4	0,94	0,25	0,1	-	-	0,1-0,5
АМг2-10%TiC	9,9	2,18	0,15	0,1	-	0,1	0,1-1,2
АМг6	7,95	1,82	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1-1,1
АМг6-10%TiC	10,3	1,58	0,1	0,1	-	0,2	0,1-1,2

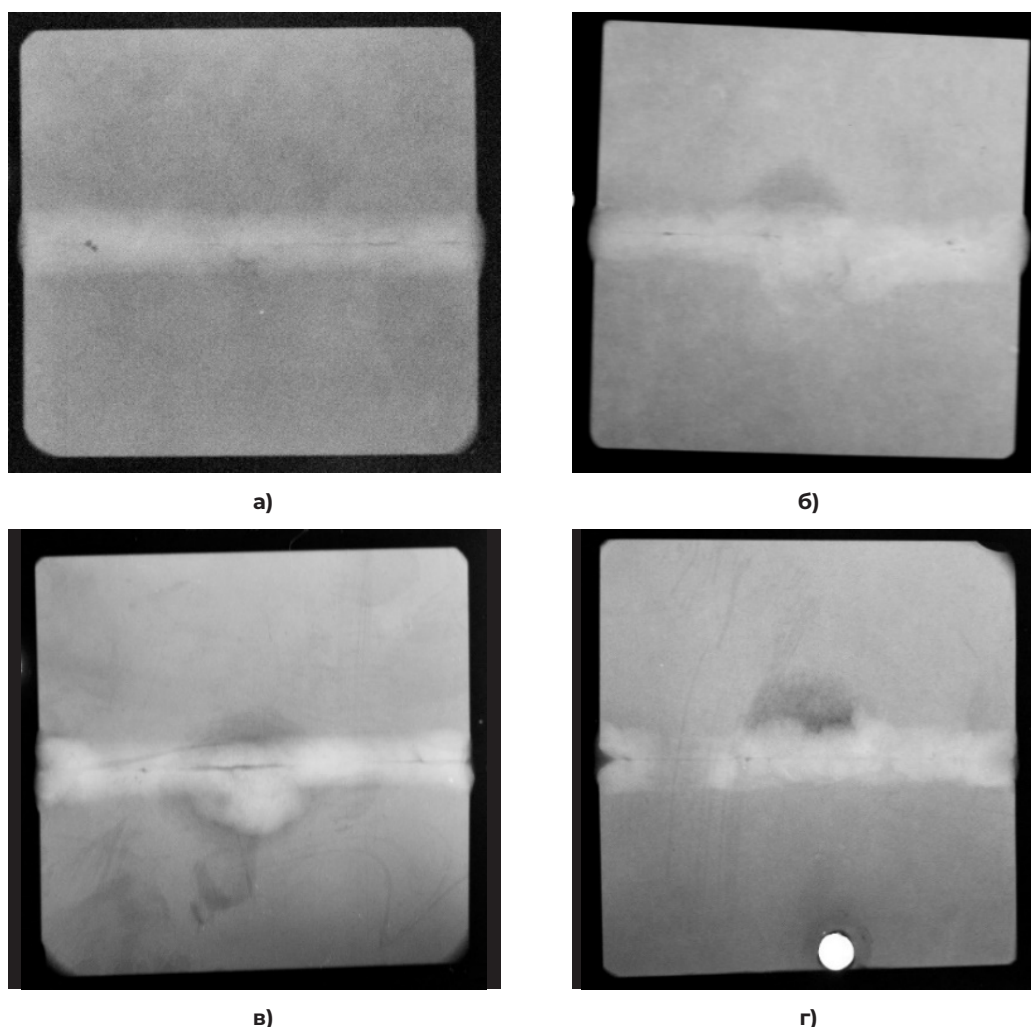


Рисунок 8. Радиографический контроль сварных образцов: а) АМг2; б) АМг2-10%TiC; в) АМг6; г) АМг6-10%TiC.

окажет негативное влияние на механические свойства сварных соединений ($\downarrow 30\%$), особенно прочности на растяжение.

Для оценки влияния наличия непроваров в неразъемных соединениях все образцы были подвержены испытаниям по разрушающим методам контроля, а именно: на растяжение, изгиб, ползучесть, сжатие, твердость

[24]. Результаты оценки твердости сварных образцов в различных зонах представлены в таблице 6.

При оценке твердости в сварном образце АМг2 наблюдается прирост твердости в зоне сварного шва и зоне основного металла. В зоне термического влияния показатели твердости не претерпевают изменений.

Таблица 6. Твердость в различных зонах сварных соединений.

Образец	Твердость образцов в различных зонах, НВ, МПа			
	Исходный образец	Зона сварного шва	Зона термического влияния	Зона основного металла
АМг2	509	644 (↑26 %)	510	594 (↑17 %)
АМг2-10%TiC	594	699 (↑17 %)	550 (↓8 %)	624 (↑5 %)
АМг6	830	761 (↓8 %)	761 (↓8 %)	761 (↓8 %)
АМг6-10%TiC	909	761 (↓16 %)	830 (↓9 %)	830 (↓9 %)

Таблица 7. Результаты механических испытаний сварных образцов на одноосное статическое сжатие.

Образец	В исходном состоянии				После сварки			
	Предел текучести, σ_T , МПа	Отн. деф., %	Степень деформации, ϵ_0	Коэф. уковки	Предел текучести, σ_T , МПа	Отн. деф., %	Степень деформации, ϵ_0	Коэф. уковки
АМг2	281	62	32	1,5	300 (↑7 %)	68	63	2,7
АМг2-10%TiC	271	60	25	1,3	340	64	60	2,5
АМг6	401	31	44	1,8	392	46	54	2,2
АМг6-10%TiC	403	19	39	1,7	364	37	56	2,3

В сварном образце АМг2-10%TiC так же, как и в предыдущем случае, в зоне сварного шва и зоне основного металла наблюдается прирост твердости, что подтверждается результатами работы [20]. В зоне термического влияния твердость падает незначительно, однако следует отметить, что показатели значительно выше, чем в случае матричной основа АМг2. Прирост твердости в зоне основного металла в обоих образцах может быть связан с образованием β -фазы состава Al_3Mg_2 , вызванного нагревом, что подтверждается работами [16, 17]. В сварных образцах АМг6 и АМг6-10%TiC наблюдается падение твердости во всех трех зонах. Так как магний в данных образцах присутствует в большем количестве, чем в образцах на основе сплава АМг2, падение твердости может быть связано с оплавлением зерен Mg вследствие воздействия высоких температур [13].

Результаты испытаний сварных соединений на одноосное статическое сжатие представлены в таблице 7.

Внешний вид неразъемных соединений материалов АМг2 и АМг2-10%TiC после испытаний на одноосное статическое сжатие: присутствие трещин наблюдается на боковых поверхностях образцов и в небольшом количестве. На образцах АМг6 и АМг6-10%TiC трещины присутствуют также на боковой

поверхности, однако их глубина и количество больше, чем в предыдущем случае.

Данные из таблицы 7 свидетельствуют о том, что на образцах АМг2 и АМг2-10%TiC после сварки наблюдается повышение предела текучести в сравнении с образцами в литом состоянии. Данное явление может быть обусловлено повышенными значениями твердости и прочности присадочного материала в связи с большим количеством магния в составе (~ 5 %). На образцах АМг6 и АМг6-10%TiC после сварки наблюдается незначительное падение предела текучести по сравнению с образцами в литом состоянии. Данное явление также объясняется чуть меньшим содержанием магния в присадочном материале, чем в основном металле.

Результаты испытаний на одноосное статическое растяжение и статический изгиб представлены в таблице 8.

Внешний вид излома после испытаний на растяжение сварного образца АМг2 можно охарактеризовать хрупким (блестящий, крупнозернистый излом), разрыв материала происходит по центру шва и имеет «рваный» вид. Внешний вид излома сварного образца АМг2-10%TiC после разрыва имеет матовую и мелкозернистую структуру, следовательно, материал менее хрупкий, что подтверждается результатами в таблице 7, разрыв образца

Таблица 8. Результаты механических испытаний сварных образцов на одноосное статическое растяжение и статический изгиб.

Образец	Предел прочности при разрыве, МПа		Коэффициент прочности сварного соединения, φ_w	N*, кгс	Угол появления первых трещин при изгибе, град.
	Литой образец	Сварной образец			
AMg2	246	66 (+30 %)	0,22	337	21
AMg2-10%TiC	158	134 (+25 %)	0,68	682	45
AMg6	367	68 (+81 %)	0,15	348	5
AMg6-10%TiC	180	120 (+33 %)	0,53	607	9

* – допустимое действительное усилие при растяжении на 1 см качественного шва при толщине пластины 5 мм.

Таблица 9. Результаты испытаний сварных образцов на коррозионную стойкость.

Образец	Параметр		
	Изменение толщины, ΔL , м	Скорость коррозии, V, г/м ² ·ч	Глубинный показатель коррозии, π , мм/год
AMg2H	0,058	0,666	0,0021
AMg2 (св.)	0,056	0,670	0,0021
AMg2-10%TiC	0,350	0,416	0,0014
AMg2-10%TiC (св.)	0,350	0,415	0,0014
AMg6H	0,082	0,962	0,0030
AMg6 (св.)	0,099	1,049	0,0035
AMg6-10%TiC	0,057	0,627	0,0027
AMg6-10%TiC (св.)	0,068	0,724	0,0028

также происходит по центру шва. В отличие от предыдущих образцов, разрыв сварного образца AMg6 произошел по кромке сварного шва. Анализируя внешний вид излома образца AMg6-10%TiC после испытаний на растяжение можно сделать вывод, что материал является менее хрупким, чем матричная основа AMg6, так как излом матовый и имеет мелкозернистый вид, разрыв происходит по центру шва. Следует отметить, что в изломах сварных образцов AMg2-10%TiC и AMg6-10%TiC виден дефект сварного соединения – непровар, который ранее был также определен по результатам РК (рисунок 8, б, г). Как и было спрогнозировано, присутствие непровара приводит к снижению прочности алюминиевых сплавов прямо пропорционально глубине этого непровара, в данном случае, – примерно на 30 %, кроме образца AMg6, где падение прочностных характеристик составляет порядка 80 %.

При испытаниях на изгиб первые трещины на матричном сплаве AMg2 появились при

достижении угла в 21 ° между ребрами пластины в центре сварного шва. На композиционном материале AMg2-10%TiC первые трещины при испытании на изгиб появились при достижении угла в 45 ° между ребрами пластины в зоне термического влияния, что говорит о хорошей прочности сварного соединения. На матричном сплаве AMg6 первые трещины появились при достижении угла в 5 ° между ребрами пластины в центре сварного шва. При испытаниях на изгиб первые трещины на композиционном материале AMg6-10%TiC появились при достижении угла в 9 ° между ребрами пластины по кромке сварного шва, по всей длине пластины, что говорит о плохом качестве сплавления материала шва и основного металла.

Результаты испытаний на определение коррозионной стойкости представлены в таблице 9. Анализируя полученные результаты, очевидно, что наличие сварного соединения не приводит к падению уровня коррозионной стойкости материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Таким образом, по результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Показана возможность применения метода АРДС для получения сварных соединений композиционных материалов АМг2-10%TiC и АМг6-10%TiC. Методами металлографического анализа установлено присутствие армирующей фазы карбида титана не только в зоне основного металла, но также в зоне термического влияния и зоне сварного шва. Установлено, что присутствие армирующей фазы в зоне сварного шва примерно в 2 раза меньше, чем в зоне основного металла. Методами неразрушающего контроля выявлено присутствие незначительного количества пор и присутствие непроваров во всех сварных образцах (АМг2, АМг2-10%TiC, АМг6, АМг6-10%TiC). Методами разрушающего контроля показано, что сварные образцы на основе композиционных материалов АМг2-10%TiC и АМг6-10%TiC показывают более высокие механические свойства, чем сварные образцы АМг2 и АМг6. Доказано, что падение предела прочности при растяжении прямо пропорционально глубине непровара, таким образом, представляется возможным спрогнозировать свойства конечного изделия. Установлено, что наличие сварного шва не приводит к падению коррозионной стойкости композиционных материалов и их матричных основ.

2. По результатам проведенного исследования выявлено, что применение метода АРДС для получения неразъемных соединений композиционных материалов возможно в случае материала АМг2-10%TiC, однако не рекомендуется на композите состава АМг6-10%TiC, так как наблюдается значительное падение механических характеристик. В целом, полученные данные позволяют рекомендовать использовать неразъемные соединения, полученные с использованием метода АРДС, на основе композита АМг2-10%TiC для работы в условиях сжимающих нагрузок и агрессивных сред, однако не рекомендуется использование в условиях растягивающих и изгибающих напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панфилов, А. А. Проблемы и перспективы развития производства и применения алюмоматричных композиционных сплавов / Е. С. Прусов, В. А. Кечин. – Текст: непосредственный // Труды нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева. – 2013. – № 2 (99). – С. 210–217.
2. Михеев, Р. С. Алюмоматричные композиционные материалы с карбидным упрочнением для решения задач новой техники / Р. С. Михеев, Т. А.

- Чернышова. – М.: Издание РФФИ, 2013. – 356 с. – Текст: непосредственный.
3. Pandey U., Purohit R., Agarwal P., Dhakad S.K., Rana R.S. Effect of TiC particles on the mechanical properties of aluminium alloy metal matrix composites (MMCs) // Materials Today: Proceedings. 2017. № 4. pp. 5452–5460.
4. Zhou D., Qiu F., Jiang Q. The nano-sized TiC particle reinforced Al–Cu matrix composite with superior tensile ductility // Mater. Sci. Eng. A. 2015. № 622. pp. 189–193.
5. Nath H., Amosov A. P. SHS amidst other new processes for in-situ synthesis of Al-matrix composites: A review // Int. Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. 2016. №. 25. pp. 50–58.
6. Pramod S.L., Bakshi S.R., Murty B.S. Aluminum-based cast in situ composites: A Review // J. Mater. Eng. Perform. 2015. №. 24(6). pp. 2185–2207.
7. Chaubey A.K., Prashanth K.G., Ray N., Wang Z. Study on in-situ synthesis of Al-TiC composite by self - propagating high temperature synthesis process // MSAIJ. 2015. №. 12. pp. 454–461.
8. Амосов, А. П. Применение различных порошковых форм углерода для армирования алюмоматричных композиционных материалов углеродом и карбидом титана (обзор) / А. П. Амосов, А. Р. Луц, А. Д. Рыбаков, Е. И. Латухин. – Текст: непосредственный // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2020. – № 4. – С. 44–64.
9. Луц, А. Р. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез наноструктурных композиционных сплавов (Al–2%Mn)–10%TiC и (Al–5%Cu–2%Mn)–10%TiC при легировании порошковым марганцем / А. Р. Луц, А. П. Амосов, Е. И. Латухин. – Текст: непосредственный // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2018. – № 3. – С. 30–40.
10. Lei Wang, Feng Qiu, Qinglong Zhao, Huiyuan Wang, Qichuan Jiang. Simultaneously increasing the elevated-temperature tensile and plasticity of in situ nano-sized TiC/Al–Cu–Mg composites // Materials. 2017. №. 125. pp. 7–12.
11. Anand Kumar, Manas Mohan Mahapatra, Pradeep Kumar Jha. Fabrication and Characterizations of Mechanical Properties of Al-4.5%Cu/10TiC Composite by In-Situ Method // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. 2012. №. 11. pp. 1075–1080.
12. Курганова, Ю. А. Исследование механических свойств перспективных алюмоматричных композиционных материалов, армированных SiC и Al₂O₃ / Ю. А. Курганова, А. Г. Колмаков, Ицзинь Чэнь, С. В. Курганов. – Текст: непосредственный // Материаловедение. – 2021. – № 6. – С. 34–38.
13. Колачев, Б. А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б. А. Колачев, М. И. Елагин, В. А. Ливанов. – М.: МИСИС, 2001. – 432 с. – Текст: непосредственный.
14. Белов, Н. А. Фазовый состав алюминиевых сплавов / Н. А. Белов. – М.: МИСИС, 2009. – 389 с. – Текст: непосредственный.

15. Арзамасов, Б. Н. Материаловедение: учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин, Н. М. Рыжов, В. И. Силаева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 648 с. – Текст: непосредственный.
16. Луц, А. Р. Влияние термической обработки на структуру и свойства композиционного материала АМг2-10%TiC, полученного методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / А. Р. Луц, Ю. В. Шерина, А. П. Амосов, А. Д. Качура. – Текст: непосредственный // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, г. Пермь, 10–14 октября 2022 г. – С. 363–367.
17. Шерина, Ю. В. Влияние армирования высокодисперсной фазой карбида титана и последующей термической обработки на структуру и свойства сплава АМг6 / Ю. В. Шерина, А. Р. Луц, П. Е. Кичаев, М. В. Богатов, А. П. Амосов. – Текст: непосредственный // Научные технологии в машиностроении. – 2023. – №. 5 (143). – С. 15–21.
18. Чернышов, Г. Г. Дуговая сварка дискретно армированных композиционных материалов с алюминиевыми матрицами: структура и свойства / Г. Г. Чернышов, Т. А. Чернышова // Заготовительные производства в машиностроении. – 2004. – № 5. – С. 5–9.
19. Чернышов, Г. Г. Влияние термического цикла дуговой сварки на структуру и свойства сварных швов дисперсно-наполненных металлокомполитов / Г. Г. Чернышов, А. М. Рыбачук, Т. А. Чернышова и др. – Текст: непосредственный // Сварочное производство. – 2001. – № 11. – С. 7–13.
20. Garcia R., Lopez V.H., Bedolla E., Manzano A. A comparative study of the MIG welding of Al/TiC composites using direct and indirect electric arc processes // Journal of materials science. 2003. № 38. pp. 2771–2779.
21. Черепивская, Е. В. Сварка плавлением дисперсно-упрочненных композиционных материалов на основе алюминия, содержащих частицы карбида кремния (обзор) / Е. В. Черепивская, В. Р. Рябов. – Текст: непосредственный // Автоматическая сварка. – 2002. – № 4. – С. 12–18.
22. Urena A., Rodrigo P., Gil L., Escalera M.D., Baldonado J.L. Interfacial reactions in an Al–Cu–Mg (2009)/SiCw composite during liquid processing. Part II. Arc welding // Journal of materials science. 2001. № 36. pp. 429 – 439.
23. Рябов, В. Р. Исследование свариваемости дисперсно-упрочнённого композиционного материала Al + SiC / В. Р. Рябов, А. Н. Муравейник, В. П. Будник и др. – Текст: непосредственный // Автоматическая сварка. – 2001. – № 11. – С. 15–19.
24. Овчинников, В. В. Дефектация сварных швов и контроль качества сварных соединений: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / В. В. Овчинников. – М.: Издательский центр «Академия», 2017. – С. 224. – Текст: непосредственный.
25. Пат. 743175 США МКМ В 23 К 9/23, МКИ 219/137. Method of welding of metal matrix composites / Das. K. Bhadwan. Оpubл. 21.06.88.



УГОЛОВНО-ПРАВОВАЯ ОЦЕНКА ГРАБЕЖА КАК МАЛОЗНАЧИТЕЛЬНОГО ДЕЯНИЯ: АНАЛИЗ СУДЕБНОЙ ПРАКТИКИ

Жилкин Максим Геннадьевич,

доктор юридических наук, доцент,
Московский университет МВД России
имени В. Я. Кикотя (Московский областной филиал)
Руза, Россия
E-mail: Zmax71@mail.ru

Чуканова Евгения Сергеевна,

кандидат юридических наук, доцент,
Московский университет МВД России
имени В. Я. Кикотя (Московский областной филиал)
Руза, Россия
E-mail: Upik2021@mail.ru

Предмет исследования: более 20 судебных постановлений о прекращении уголовных дел и оправдательных приговоров, а также правовые позиции Конституционного и Верховного Судов Российской Федерации.

Цель работы: выявление научно-обоснованных критериев малозначительности грабежа на основе судебной практики.

Методы и объекты исследования: в исследовании использовались методы формально-юридического анализа, обобщения и систематизации нормативно-правовой базы и доктринальных позиций.

Основные результаты исследования: разработка объективных критериев малозначительности грабежа, учитывающих как юридические, так и социально-экономические аспекты. Выводы исследования предлагают пути усовершенствования правоприменительной практики и могут служить основой для корректировки законодательства в области квалификации преступлений.

Ключевые слова: уголовно-правовая оценка, квалификация, хищения, грабеж, малозначительность, незначительный размер, отягчающие обстоятельства, судебная практика.

CRIMINAL LAW ASSESSMENT OF ROBBERY AS A MINOR ACT: ANALYSIS OF JUDICIAL PRACTICE

Maxim G. Zhilkin

Doctor of Law Sciences, Associate Professor,
Moscow Regional Branch V. Ya. Kikot
Moscow University of the Ministry
of Internal Affairs of Russia,
Ruza, Russia
E-mail: Zmax71@mail.ru

Evgeniya S. Chukanova

Candidate of Law Sciences, Associate Professor,
Moscow Regional Branch V. Ya. Kikot,
Moscow University of the Ministry
of Internal Affairs of Russia,
Ruza, Russia
E-mail: Upik2021@mail.ru

Subject of research: more than 20 judicial decisions on the termination of criminal cases and acquittals, as well as the legal positions of the Constitutional and Supreme Courts of the Russian Federation, were chosen as the subject of the study.

Purpose of research: is to identify scientifically based criteria for the insignificance of robbery based on judicial practice.

Methods and object of research: the study used methods of formal legal analysis, generalization and systematization of the regulatory framework and doctrinal positions. Main results of research: was the development of objective criteria for the insignificance of robbery, taking into account both legal and socio-economic aspects. The conclusions of the study suggest ways to improve law enforcement practice and can serve as a basis for adjusting legislation in the field of crime qualification.

Keywords: criminal law assessment, qualification, embezzlement, robbery, insignificance, insignificant size, aggravating circumstances, judicial practice.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование актуализируется проблематикой в правоприменении, касающейся уголовно-правовой оценки грабежа как малозначительного деяния, что отражает сложности в оценке степени общественной опасности таких преступлений. Отличительной чертой работы является всесторонний анализ судебной практики и разработка обоснованных критериев для определения малозначительности деяний, что представляет научную новизну. Практическая значимость исследования проявляется в возможности его применения для улучшения качества правосудия и адаптации законодательства, направленных на углубление понимания справедливости и эффективности в области уголовного права.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Признание деяний, формально содержащих объективные и субъективные признаки

состава преступления, как малозначительных – является вопросом факта, зависящим от констатации отсутствия общественной опасности конкретного деяния. Это оценочное понятие требует учета обстоятельств конкретного дела, что отдано на откуп правоприменителю, однако важность оценки малозначительности заключается в предотвращении несправедливого осуждения лиц, совершивших действительно незначительные проступки [8, С. 30]. Недостаток объективных критериев малозначительности может привести к произвольному применению закона правоприменителями.

Вопрос о возможности уголовно-правовой оценки грабежа как малозначительного деяния, которое не представляет опасности для общества, вызывает обсуждения. Исследуя судебную практику, мы пришли к выводу, что в большинстве случаев малозначительность исключается при совершении грабежа. В то же время мы констатируем наличие в



судебной практике случаев, когда ненасильственный грабёж на небольшую сумму признаётся малозначительным деянием.

Есть мнение, что считать грабёж малозначительным деянием необоснованно, так как это преступление имеет общественно-опасный характер, независимо от размера причиненного ущерба. Этот подход в известной степени отражен в правовой позиции Конституционного суда Российской Федерации Конституционного суда Российской Федерации от 27.09.2019 № 2318-О, который отказался рассмотреть жалобу гражданина, осужденного за грабёж – хищение имущества на сумму 450 рублей, и признал, что действия гражданина не являются преступлением из-за незначительности ущерба, указав на более опасный характер грабёжа, который угрожает не только собственности, но и неприкосновенности личности и ее достоинству. Суды, отказывающиеся в возможности считать грабёж малозначительным, обычно дословно цитируют сформулированное судом правоположение по этому делу [10].

В дневное время, Т., находясь в состоянии алкогольного опьянения, в магазине «Магнит» Акционерного общества «Тандер», действуя умышленно и из корыстных побуждений, тайно похитил с полки торгового стеллажа бутылку водки «Царская Серебряная» объемом 0,25 литра стоимостью 124 рубля 99 копеек. Он спрятал похищенное в карман брюк и попытался скрыться с места преступления. Однако его действия заметила одна из сотрудниц, которая потребовала от Т. оплатить товар или вернуть его. Т., игнорируя требования, попытался скрыться, но был задержан директором магазина. Таким образом, Т. не смог довести свой преступный умысел до конца из-за обстоятельств, не зависящих от него, и попытался причинить АО «Тандер» материальный ущерб в сумме 124 рубля 99 копеек.

Суд пришел к выводу, что вина подсудимого Т. в совершенном преступлении доказана, и квалифицировал его действия как покушение на грабёж. Т., находясь в состоянии алкогольного опьянения, открыто похитил бутылку водки из магазина «Магнит» и попытался скрыться, но был задержан.

Суд отверг доводы стороны защиты об отсутствии в деянии Т. состава преступления ввиду его малозначительности и отсутствия общественной опасности. Суд указал, что малозначительность преступления при совершении грабёжа исключается. Грабёж считается опасным преступлением даже при незначительном размере ущерба, поскольку он совершается открыто, и это обстоятельство предопределяет его повышенную

общественную опасность. Поэтому уголовной ответственности за грабёж лицо подлежит независимо от стоимости похищенного [18].

Признание грабёжа малозначительным деянием соответствует нормам УК РФ, не требующим учета тяжести преступления для применения концепции малозначительности. Пленум Верховного Суда РФ [9] подтверждает отсутствие ограничений на применение этой нормы к грабёжу. Однако отсутствие четкого определения малозначительности в законе заставляет правоприменителей интуитивно оценивать общественную опасность деяний, что может вести к ошибкам в оценке. Это подчеркивает необходимость более глубокого анализа обстоятельств дела для избегания неоправданно широкой вариативности уголовной ответственности.

Для признания грабёжа малозначительным деянием суды учитывают следующую совокупность обстоятельств:

1) В качестве потерпевшей стороны выступают юридические лица, что может привести к более комплексному пониманию преступления, учитывая его влияние на деятельность организаций и их финансовое состояние.

2) Минимальный (иногда стремящийся к нулю) объем причиненного вреда может указывать на то, что преступление носит малозначительный и несущественный характер, что может быть учтено при вынесении приговора.

3) Ненасильственный способ завладения имуществом может свидетельствовать о неприменении насилия и о демонстрации отсутствия угрозы для жизни и здоровья потерпевшего.

4) Оценка предмета преступления как мало функционального, не пригодного к использованию, подчеркивает ограниченность ущерба, что может быть учтено при определении степени вины.

5) Незавершённость преступления может свидетельствовать о недостаточной реальной угрозе для общества и потерпевших, что может быть учтено при рассмотрении дела.

6) Данные, положительно характеризующие личность преступника, могут свидетельствовать о его потенциальной возможности к ресоциализации и уменьшении вероятности совершения повторного преступления.

Таким образом, рассмотрение грабёжа как малозначительного деяния при участии коммерческих организаций и отсутствии материальных требований к виновным может быть рассмотрено с учетом его уменьшенной опасности в глазах суда и возможности

прекращения уголовного дела из-за малозначительности совершенного преступления.

В контексте проведенных исследований судебной практики, когда анализируется грабеж как малозначительное деяние, обращает на себя внимание преобладание случаев с участием коммерческих структур в качестве потерпевших, где ущерб, нанесенный деянием, несущественен по сравнению с общим объемом активов предприятия. Инициативное возмещение ущерба виновным лицом и отсутствие материальных претензий от потерпевших сторон вносят весомый вклад в снижение перцепции опасности такого грабежа для общества и могут служить основанием для прекращения уголовного преследования на основе малозначительности преступления [3,14, 15].

В анализируемых случаях ущерб варьировался от минимальных сумм (241 рубля 37 копеек) до значений, не превышающих несколько тысяч рублей (3 267 рублей), что в контексте неиспользования насилия при совершении грабежа и наличия других смягчающих обстоятельств существенно понижает его общественную опасность и оказывает влияние на решение суда о квалификации такого грабежа как малозначительного преступления [3].

При изучении уголовных дел, связанных с грабежами, стало ясно, что суды чаще всего акцентируют внимание на способе совершения преступления с использованием ненасильственных методов, при определении признаков его малозначительности. Однако существует мнение о том, что даже насильственные формы посягательства на имущество могут быть признаны малозначительными. Здесь нужно сделать несколько замечаний.

Во-первых, насильственный грабеж и разбой относятся к категории тяжких преступлений, так как они причиняют серьезный вред жертве и имеют потенциально опасные последствия для общества. Поэтому законодательство устанавливает для них более строгие наказания и меры наказания.

Во-вторых, высокая общественная опасность насильственного грабежа и разбоя подтверждается как нормами УК РФ, так и практикой их применения в судебных решениях. Это свидетельствует о серьезном влиянии этих преступлений на общество и необходимости их жесткого наказания.

В-третьих, отсутствие случаев, когда разбой признавался малозначительным деянием, и редкие попытки признания насильственного грабежа таковым подчеркивают серьезное отношение к этим преступлениям

в правовой практике и их негативное воздействие на общество.

П., уезжая с заправки, задел ногу Б. своим автомобилем, причинив ему физическую боль без вреда для здоровья. Он также не оплатил топливо, которое заправил, что привело к ущербу в размере 2 568,28 рублей для АО. Однако суд первой инстанции не учел, что оператор заправки навязал П. оплатить большее количество топлива, которое он не собирался покупать и, следовательно, не мог заплатить. Эти обстоятельства были подтверждены свидетельскими показаниями оператора АЗС К. и представителем потерпевшего, которая указала, что ущерб, причиненный П., был полностью возмещен впоследствии. Медицинская экспертиза также не подтвердила диагноз «повреждение связок левого коленного сустава», указанный в медицинской документации Б. Ни в одном из указанных документов нет признаков «насилия, не опасного для жизни и здоровья».

Однако, при тщательном исследовании обстоятельств, выяснилось, что само преступное поведение лица, совершившего грабеж, было связано с провокационными и конфликтными действиями жертвы. Жертва настойчиво предложила виновному большее количество топлива, чем ему было нужно, а также настоятельно потребовала его оплаты. При этом судом Апелляционной инстанции было поставлено под сомнение факт применения насилия, которое не причинило физических повреждений. Впоследствии, виновный добровольно возместил небольшой ущерб, нанесенный предприятию в сумме 2 568,28 рублей, и вреда для жертвы от его действий не возникло. Исходя из этого, суд признал не квалифицированный, а простой грабеж как малозначительное деяние [2].

Данный случай демонстрирует сложность уголовно-правовой оценки открытого хищения в условиях, когда причинение вреда и неоплата товара сопровождаются провокационными действиями потерпевшей стороны. Суд первой инстанции не учел обстоятельства, свидетельствующие о возможной провокации со стороны оператора АЗС, что могло существенно изменить правовую оценку действий П. Однако апелляционный суд, учитывая все нюансы дела, включая отсутствие физического вреда и последующее добровольное возмещение ущерба, пришел к выводу о малозначительности деяния. Этот пример подчеркивает важность всестороннего рассмотрения обстоятельств для адекватной правовой оценки.

Тем не менее суды не всегда признают незначительный размер причиненного ущерба

как основу для признания грабежа мелким преступлением, даже если при открытом хищении чужого имущества используется любая форма насилия, даже самая незначительная. В таких случаях возникает сложная ситуация для правоприменителей, так как с одной стороны, совершается серьезное преступление против собственности и личности, а с другой стороны – размер причиненного ущерба действительно невелик (иногда даже смехотворно малый). В результате принимается компромиссное решение, при котором наличие насилия не учитывается, и преступнику предъявляется обвинение в простом грабеже, а положения о малозначительности деяния не применяются.

В ситуации, произошедшей в магазине «Март», С.И.Н. совершил акт прямого насилия против продавца, захватил небольшое количество продовольственных товаров на сумму 64 рубля 50 копеек и покинул место преступления, распорядившись украденным по своему усмотрению. Судебное разбирательство касалось малозначительности совершенного акта, однако суд пришел к выводу о наличии общественной опасности в действиях С.И.Н., что привело к его осуждению по статье, предусматривающей наказание за грабеж, с приговором к лишению свободы [19].

Такие решения кажутся ошибочными, потому что они не отражают реальных обстоятельств дела, хотя они удовлетворяют и сторону обвинения, и осужденного, который полностью согласен с таким приговором. Позиция суда о непризнании малозначительным грабежа, совершенного группой людей и причинившего незначительный ущерб, кажется однозначной [16].

Между тем, представленный ниже пример отражает возможность квалифицировать соучастие в совершении грабежа как малозначительное деяние, когда объект преступления уже длительное время не имеет ценности для владельца имущества, и при этом еще не завершается осуществление преступного намерения.

К. и П., в состоянии алкогольного опьянения, пытались похитить чугунную ванну, стоимостью 3 267 рублей временно размещенную в подъезде. Их действия были остановлены благодаря внимательной соседке и вмешательству полиции. Потерпевший в ходе следствия заявил, что ванна была ему возвращена и ее стоимость оценивается в 2 000 рублей, что для него незначительно. Эта ванна не была им куплена, она была передана ему предыдущими владельцами вместе с купленной квартирой. Более того, после происшествия он передал эту ванну своему знакомому,

который сдал ее в пункт приема металла. Суд, принимая решение по делу, указал, что анализ обстоятельств преступления П. и К., незначительный ущерб, возмещение причиненного вреда и отсутствие претензий со стороны потерпевшего, а также отсутствие доказательств существенного вреда его интересам в материалах дела, не позволяют однозначно сделать вывод о достаточной общественной опасности совершенного ими деяния, что позволило бы признать его преступлением. Сам по себе способ совершения группового открытого хищения имущества по предварительному сговору, который является квалифицирующим признаком вменяемого им преступления, без учета конкретных обстоятельств дела, не свидетельствует о невозможности признания деяния малозначительным, по мнению суда. В результате, обратив внимание на все фактические обстоятельства дела по обвинению П. и К. в совершении покушения на открытое хищение чужого имущества, группой лиц по предварительному сговору, суд пришел к заключению, что это преступление, хотя и имеет формальные признаки, предусмотренные п. «а» ч. 2 ст. 161 УК РФ, однако учитывая его объективные обстоятельства, мотивы и цели, оно не вызвало и не могло вызвать вреда охраняемым уголовным законом интересам. Это свидетельствует о его малозначительности, что исключает возможность привлечения совершивших его лиц к уголовной ответственности в соответствии с ч. 2 ст. 14 УК РФ [11].

Следует отметить, что в вышеприведенном примере суд, рассматривая групповое открытое хищение чужого имущества К. и П. как малозначительное, не влекущее уголовную ответственность, обосновал свое решения позицией потерпевшего, который утверждал о незначительности причиненного ему ущерба и отсутствие претензий в виновным после возвращения предмета хищения, который уже не представлял для него ценности, в связи с чем собственник передал его на утилизацию. Анализ представленного решения подчеркивает значимость учета всех факторов дела, включая мотивы, последствия и обстоятельства совершения преступления. В данном случае, судебное решение о малозначительности деяния, несмотря на формальные признаки группового открытого хищения, отражает гибкий подход к оценке действий обвиняемых. Это подчеркивает важность индивидуального подхода в правоприменении, когда внимание к деталям и контексту может изменить уголовно-правовую оценку и исключить непропорциональное общественной опасности деяния наказание.

Учитывая степень осуществления преступного намерения, имея в виду один из факторов, определяющих опасность грабежа, как указано в предыдущем и последующем примере, при отсутствии причиненного ущерба, данный подход является обоснованным и полностью соответствует рекомендациям высшего судебного органа.

В состоянии алкогольного опьянения Х. взял из магазина банку кофе «Нескафе Голд» стоимостью 154 рубля 95 копеек и шоколад «Милкаблс» за 34 рубля 80 копеек, не реагируя на просьбы сотрудника оплатить товар. Сотрудник магазина задержал Х., который пытался скрыться с похищенными товарами. Х. мог причинить ООО ущерб на сумму 189 рублей 75 копеек. В суде было установлено, что Х. совершил покушение на грабеж, но его действия не вызвали негативных экономических последствий для ООО, и ООО не имело материальных претензий к Х. Поэтому суд пришел к выводу, что поскольку действия Х. не представляют общественной опасности, они не являются уголовным преступлением, и уголовное дело против Х. должно быть прекращено в силу отсутствия состава преступления согласно п. 2 ч. 1 ст. 24 УПК РФ [15].

В контексте анализа хищения концепция предмета преступления выходит за рамки простой экономической оценки, требуя учета его более глубокой социальной значимости для потерпевшего. Этот аспект подчеркивает необходимость оценки не только материальной стоимости утраченного, но и его влияния на жизнь и благополучие потерпевшего, что вносит существенный вклад в правильную квалификацию преступления. Анализ приговоров показал, что при открытом хищении чужого имущества в некоторых случаях предмет преступления оказывался непригодным для использования, что служило основанием для снижения опасности преступления.

Г. был осужден за грабеж, произошедший 18 марта 2019 года на зерноскладе, подлежащем демонтажу. Действуя с корыстными мотивами, он завладел металлическим швеллером длиной 260 см и шириной 19 см, стоимостью 231 рубль, который являлся собственностью компании. В результате данного преступления владельцу имущества был нанесен ущерб на сумму 231 рубль. Суд первой инстанции, признавая виновность Г. в открытом хищении чужого имущества, не учел факт того, что зерносклад был построен в 80-х годах XX века и находился в стадии разрушения, а также не использовался в хозяйственных целях. Местные жители, чтобы предотвратить полное разрушение склада, решили его демонтировать. Г. согласился

с оценкой стоимости швеллера размерами 260x19 см, которая составляла 231 рубль по цене металлолома. В сравнении с оборотными и основными средствами предприятия, стоимость которых составляла 20 000 000 рублей, причиненный ущерб в результате похищенного швеллера был незначительным. Действия Г. не нанесли вреда личности, обществу и государству. Однако эти данные отсутствуют в приговоре. Апелляционный суд считает совершенное Г. преступление малозначительным, так как стоимость швеллера размерами 260x19 см, который имел признаки износа, составляет всего 231 рубль. В результате его действий не был причинен вред личности, обществу и государству. Поэтому из-за малозначительности совершенного деяния, в действиях Г. отсутствует состав преступления, предусмотренного ч. 1 ст. 161 УК РФ [1].

Таким образом, небольшая стоимость похищенного имущества не может автоматически определить грабеж как малозначительное деяние. Ключевыми являются такие аспекты, как состояние объекта, лишаящее его возможности использоваться по назначению, и отсутствие заинтересованности владельца в его сохранении, что подчеркивает необходимость глубокого анализа обстоятельств каждого конкретного случая.

6 июня 2021 года из непригодного для проживания садового домика была похищена стиральная машинка стоимостью 300 рублей. Затем она была перенесена и спрятана на соседнем заброшенном участке с целью последующей сдачи в пункт приема цветного металла. На следующий день злоумышленник вернулся к спрятанной машинке вместе с двумя друзьями, которые не знали об ее краже. Сотрудники местной охраны заметили злоумышленника, выходящего с заброшенного участка с машинкой, и, не поверив его заявлению о владении участком, потребовали вернуть ее. Однако злоумышленник, не поддавшись требованиям, ушел, неся машинку на спине. По свидетельству одного из очевидцев, злоумышленник нес корпус машинки на спине, но когда он увидел приближающуюся полицейскую машину, он бросил его и попытался сбежать, но был задержан полицейскими. Суд первой инстанции оценил это действие злоумышленника как оконченное преступление согласно ст. 161 УК РФ. Потерпевшая оценила машинку в 300 рублей, именно на эту сумму она была продана на металлолом подельником. Показания потерпевшей свидетельствуют о том, что машинка не использовалась по своему прямому назначению на момент ее хищения. Все эти обстоятельства указывают на то, что похищенное

имущество не имело никакой реальной ценности или особого значения для потерпевшей. Учитывая вышеизложенное, открытые действия злоумышленника, нацеленные на управление похищенным имуществом незначительной стоимости (всего 300 рублей), не дают оснований для однозначного вывода о его общественной опасности, что позволило бы признать его преступлением [4].

Информация о личности обвиняемого и его поведении после совершения преступления имеет важное значение для суда, особенно в случае, когда рассматривается возможное признание грабежа как малозначительного преступления. Такие факторы, как возраст обвиняемого, его положительные характеристики, отсутствие предшествующей административной или уголовной ответственности, добровольная компенсация ущерба пострадавшему, признание преступления и раскаяние в его совершении, а также активное участие в расследовании преступления, могут влиять на оценку степени общественной опасности преступления и быть учтены при вынесении решения суда.

Позитивные характеристики обвиняемого, его возраст и отсутствие предшествующей уголовной активности могут свидетельствовать в пользу того, что совершенное преступление является непродуманным поступком, нехарактерным для данного человека.

Вместе с тем, отметим, что исследователи справедливо высказывают сомнения относительно возможности учитывать личность виновного в случаях, связанных с его поведением после фактического окончания преступления, а не до или в процессе его совершения [6, С. 3-11].

Находясь в магазине, Л. совершила тайное хищение парфюмерной воды стоимостью 1 186 рублей 37 копеек с одной из полок. Она надеялась остаться незамеченной, но сотрудник магазина заметил ее преступные действия и потребовал, чтобы она остановилась. Л. проигнорировала требования сотрудника и, осознавая, что ее преступные намерения видны, похищенное имущество взяла с собой, ушла с места происшествия и нанесла ООО «А» ущерб в указанном размере. Л. сама явилась в полицию в тот же день, полностью признала свою вину, сдала похищенное имущество, оказывала помощь в расследовании и добровольно возместила ущерб, а также раскаялась в содеянном и просила рассмотреть дело в особом порядке. Суд рассмотрел данные обстоятельства и пришел к выводу, что Л. не нанесла значительного вреда обществу и потерпевшему. Суд также учел данные о личности Л., пенсионерке, которая ранее не

привлекалась к уголовной и административной ответственности, и имела положительную характеристику с места проживания. Учитывая эти обстоятельства, суд пришел к выводу, что преступление, совершенное Л., не представляет серьезной общественной опасности и не является преступлением в силу его малозначительности [13].

Однако в большинстве ситуаций суды не признавали грабеж малозначительным из-за факторов, усугубляющих общественную опасность содеянного.

Анализ судебной практики дел о грабеже, которые суд не посчитал малозначительными, показал, что уровень общественной опасности совершенного преступления зависит от значимости объекта, важности его для общества и государства, степени реализации преступного намерения и способов его осуществления, размера ущерба и тяжести последствий, а также условий, в которых преступление было совершено (например, чрезвычайное положение, стихийные бедствия), вины и категории преступления. Определение степени общественной опасности основано на всех этих обстоятельствах, включая информацию о личности подсудимого и потерпевшего.

1. Основная цель намеренного действия заключается в открытом присвоении чужого имущества [17].

2. Взаимодействием с окружающими и социальный статус виновного (имеющими официальное трудоустройство или без него, обладающими или не обладающими постоянным законным источником дохода) [22].

3. Наличие административной наказанности или судимости за ранее совершенные деяния [20].

4. Наличие негативных отзывов с места проживания или с места пребывания во время отбывания наказания [23].

5. Предмет преступления не является необходимым продуктом питания и не предназначен для выживания [19].

6. Личность подсудимого обладает последовательным криминальным образом поведения, связанным с многократным осуществлением умышленных преступлений (рецидив) [24].

7. Совершение преступления в результате нахождения в состоянии алкогольного опьянения, которое способствовало совершению преступления [21].

Учитывая личность подозреваемых, которые не делают выводов из предыдущих эпизодов привлечения к уголовной ответственности и продолжают совершать преступные действия, несмотря на незначительный

ущерб материального характера, суды приходят к выводу, что такие действия серьезно нарушают общественные отношения собственности, и поэтому их совершение нельзя считать малозначительным деянием.

Одним из критериев малозначительности деяния, в данном случае грабежа, является прямой конкретизированный умысел на совершение хищения в незначительном размере [7, С. 19]. Применение нормы о малозначительности возможно только в случае, если лицо желало совершить именно незначительное, ничтожное по своим последствиям хищение [25, С. 51]. Таким образом, умысел должен быть ясным и подтверждать малозначительность деяния, даже при незначительном ущербе потерпевшему.

Примером этого может служить судебное решение об отклонении довода осужденного об отсутствии состава преступления, предусмотренного пп. «а», «г» ч. 2 ст. 161 УК РФ, исходя из малозначительности причиненного ущерба потерпевшему. Суд, обосновывая свое решение, указал на отсутствие умысла нанести потерпевшему определенный ущерб, и что ответственность возникает только за фактически причиненные последствия. Однако нужно учитывать, что причинение незначительного ущерба не всегда означает малозначительное деяние, поскольку для установления малозначительности хищения необходимо учитывать как субъективные, так и объективные аспекты: намерения вызвать незначительные последствия и реальное причинение таких последствий [12].

Б.М.ЮА. обвинялся в покушении на грабеж, что формально подпадает под признаки ст.ст. 30 и 161 УК РФ. Однако суд первой инстанции признал действия Б.М.ЮА. малозначительными и оправдал его, поскольку размер потенциального ущерба, который мог быть причинен его действиями, составлял всего 32 рубля и не представлял значительного вреда для субъекта предпринимательской деятельности.

Апелляционное представление было подано заместителем Ивановского межрайонного прокурора, который полагал, что выводы суда не соответствуют фактическим обстоятельствам уголовного дела и просил приговор отменить, направив уголовное дело на новое рассмотрение.

Однако суд апелляционной инстанции не нашел оснований для отмены или изменения судебного решения. Суд согласился с выводом суда первой инстанции о том, что действия Б.М.ЮА. хотя формально и содержат признаки преступления, но не представляют общественной опасности. Суд апелляционной

инстанции также отметил, что обстоятельства, на которые ссылается прокурор в апелляционном представлении (совершение деяния в состоянии алкогольного опьянения и при наличии непогашенной судимости), связаны не с деянием, а с личностью виновного, и поэтому не являются определяющими при оценке содеянного по критерию значительности.

Таким образом, апелляционное представление было отклонено, и приговор оставлен без изменения.

Суд прекратил дело по малозначительности, основываясь на следующих аргументах:

- по смыслу закона деяние, формально подпадающее под признаки преступления, должно представлять собой достаточную степень общественной опасности, которая свидетельствует о способности деяния причинить существенный вред общественным отношениям;

- согласно ч. 2 ст. 14 УК РФ, не является преступлением действие (бездействие), хотя формально и содержащее признаки какого-либо деяния, предусмотренного УК РФ, но в силу малозначительности не представляющее общественной опасности, то есть не причинившее вреда и не создавшее угрозы причинения вреда личности, обществу или государству;

- суд, руководствуясь положениями ч. 2 ст. 14 УК РФ и исходя из правовой позиции, изложенной в Определении Конституционного Суда РФ от 16.07.2013 № 1162-О, пришел к выводу о том, что с учетом конкретных обстоятельств дела, действия обвиняемого, хотя формально и содержат признаки преступления, но не представляют общественной опасности;

- вывод о незначительности стоимости имущества, которое намеревался похитить обвиняемый, объективен, мнение представителя потерпевшего, пояснившего о незначительности ущерба, который мог быть причинен действиями обвиняемого, в размере 32 рублей, само по себе не имело определяющего значения;

- с учетом размера потенциального ущерба, который мог быть причинен действиями обвиняемого (32 рубля), он, очевидно, ни при каких обстоятельствах не мог быть признан значительным для субъекта предпринимательской деятельности.

Судом также верно отмечено, что по делу отсутствуют доказательства причинения или угрозы причинения содеянным вредом охраняемым законом интересам общества и государства. Не представлено таковых и в ходе апелляционного производства. Само по себе совершение хищения в общественном месте

и в присутствии иных лиц, в условиях очевидности для них, не исключает возможность признания деяния малозначительным [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Из проведенного исследования следуют ключевые выводы:

1. Судебные решения по грабежу, оцениваемому как малозначительное деяние, встречаются нечасто, особенно если речь идет о ненасильственных формах грабежа.

2. Обычно малозначительность преступления связывают с ущербом менее 1000 рублей.

3. При определении малозначительности учитываются не только размер ущерба, но и множество других критериев, включая личность преступника и характер преступления.

4. Насильственные действия, как правило, исключают возможность признания грабежа малозначительным деянием, подчеркивая важность оценки всех обстоятельств дела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апелляционное определение Красноярского краевого суда от 12.04.2022 по делу № 22-2505/2022. – Текст: электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
2. Апелляционное определение Московского городского суда от 17.03.2020 по делу № 10-4759. – Текст: электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
3. Апелляционное постановление Белгородского областного суда от 03.02.2021 по делу № 22-114. – Текст: электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
4. Апелляционное постановление Ивановского областного суда от 20.05.2022 по делу № 22-0951/2022. – Текст: электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
5. Апелляционный приговор Верховного Суда Чувашской республики от 27.11.2019 по делу № 22-2903. – Текст: электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
6. Винокуров, В. Н. Общественная опасность и малозначительность деяния / В. Н. Винокуров. – Текст: непосредственный // Уголовное право. – 2023. – № 10. – С. 3–11.
7. Жилкин, М. Г. Судебная практика квалификации грабежа как малозначительного деяния / М. Г. Жилкин, Е. С. Чуканова. – Текст: непосредственный // Уголовное право. – 2022. – № 10(146). – С. 10–20.
8. Крылова, Н. Е. Квалификационные ошибки по уголовным делам, рассмотренным в особом порядке принятия судебного решения / Н. Е. Крылова. – Текст: непосредственный // Вестник Московского университета. – Серия 11. – Право. – 2022. – № 6. – С. 23–41.
9. О судебной практике по делам о краже, грабеже и разбое: Пленум Верховного Суда РФ: от 27.12.2002 № 29: (в ред. 15.12.2022). – Текст: электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
10. Определение Конституционного Суда РФ от 27.09.2019 № 2318-О «Об отказе в принятии к рассмотрению жалобы гражданина Исмакаева Владимира Николаевича на нарушение его конституционных прав положениями части первой статьи 161 Уголовного кодекса Российской Федерации и статьи 401.8 Уголовно-процессуального кодекса Российской Федерации» // – Текст: электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
11. Постановление Заволжского районного суда города Ульяновска от 11.03.2021 по делу № 1-138/202. – Текст: электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
12. Постановление Московского городского суда от 17.10.2012 по делу № 4у/6-8439. – Текст: электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
13. Постановление Свердловского районного суда г. Белгорода от 11.06.2019 по делу № 1-164/2019. – Текст: электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
14. Постановление Свердловского районного суда города Белгорода от 11.06.2019 по делу № 1-164/2019. – Текст: электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
15. Постановление Тимирязевского районного суда города Москвы от 29.05.2020 по делу № 01-0180/2020. – Текст: электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
16. Приговор Армавирского суда Краснодарского края от 22.05.2020 по делу № 1-167/2020. – Текст: электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
17. Приговор Братского городского суда Иркутской области от 30.10.2020. по делу № 1-446/2020. – Текст: электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
18. Приговор Ишимского городского суда Тюменской области от 17.11.2021 по делу № 1-266/2021. – Текст:

- электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
19. Приговор Кисловодского городского суда Ставропольского края от 16.03.2015 г. по делу № 1-46/15. – Текст : электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
20. Приговор Ленинского районного суд города Иваново от 02.10.2020 по делу № 1-307/20 // СПС «КонсультантПлюс» (дата обращения: 30.01.2024).
21. Приговор Нижнекамского городской суд республики Татарстан от 16.06.2020 по делу № 1-455/20. – Текст : электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
22. Приговор Октябрьского районного суда города Архангельска от 13.08.2020 по делу № 1-316/2020. – Текст : электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
23. Приговор Сухиничского районного суда Калужской области от 04.08.2020 по делу № 1-1-82/2020. – Текст : электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
24. Приговор Усть-Большерецкого районного суда Камчатского края от 12.10.2020 по делу № 1-59/2020. – Текст : электронный // СПС КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/documents/cons_doc_LAW (дата обращения 30.01.2024.)
25. Хромов, Е. В. Проблемы квалификации неоконченных хищений с неконкретизированным умыслом / Е. В. Хромов. – Текст: непосредственный // Вестник Университета прокуратуры Российской Федерации. – 2023. – № 4. – С. 44–51.



ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СУБЪЕКТОВ ИСПОЛНЕНИЯ НАКАЗАНИЯ КАК ФАКТОР РЕАЛИЗАЦИИ ЕГО СОДЕРЖАНИЯ

Звонов Андрей Викторович,

кандидат юридических наук, доцент,
Академия ФСИН России
Рязань, Россия
Владимирский государственный
университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых
Владимир, Россия
E-mail: zvonov_av@mail.ru;
ORCID: 0000-0002-9591-6286

Предмет исследования: деятельность субъектов исполнения наказания, которая напрямую связана с режимом уголовного наказания, основанном на системе ограничений конкретного наказания.

Цель исследования: обобщить имеющиеся и получить новые знания о влиянии деятельности субъектов исполнения наказаний при реализации своих полномочий на содержание кары уголовного наказания и систему уголовных наказаний в целом.

Методы и объекты исследования: в статье используются характерные для науки средства и способы познания, обеспечивающие объективность, и опирающиеся на фундаментальные законы и категории теории познания и диалектического метода изучения явлений. В качестве базового метода, объединяющего все остальные, применен системно-структурный, позволивший провести научный анализ материала исследования. Кроме того, использованы другие методы познания: моделирование, логический; обобщение и описание полученных данных и т. д. Исследование проведено с опорой на криминологическое обоснование полученных выводов в плоскости объективной теоретико-прикладной реальности, с субъективных позиций ученых и личного взгляда автора.

Основные результаты исследования: выявлено влияние деятельности субъектов исполнения наказаний на процесс отбывания осужденными назначенного наказания, которое состоит как в компетенциях учреждений, исполняющих наказания, так и компетенциях непосредственно лиц, наделенных полномочиями по их исполнению. Автор полагает, что дальнейшее исследование указанного вопроса будет способствовать достижению целей уголовных наказаний и повышению качества реализации системы уголовных наказаний в целом.

Ключевые слова: уголовное наказание, перечень и соотношение наказаний, деятельность субъектов исполнения наказания, субъективное познание и восприятие, субъекты исполнения и отбывания наказания.

ACTIVITIES OF PENALTY EXECUTION SUBJECTS AS A FACTOR IN THE IMPLEMENTATION OF ITS CONTENT

Andrey V. Zvonov

Candidate of Law Sciences, Associate Professor,
Academy of the FPS of Russia
Ryazan, Russia
Stoletovs' Vladimir State University
Vladimir, Russia
E-mail: zvonov_av@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9591-6286

Subject of research: activities of subjects of execution of punishment, which are directly related to the regime of criminal punishment, based on a system of restrictions on a specific punishment.

Purpose of research: to summarize the available and gain new knowledge about the impact of the activities of the subjects of execution of punishments in the exercise of their powers on the content of the punishment of criminal punishment and the system of criminal penalties in general.

Methods and objects of research: the article uses the means and methods of cognition characteristic of science, ensuring objectivity, and relying on the fundamental laws and categories of the theory of knowledge and the dialectical method of studying phenomena. As a basic method that combines all the others, a system-structural one was used, which made it possible to conduct a scientific analysis of the research material. In addition, other methods of cognition were used: modeling, logical; generalization and description of the data obtained, etc. The study was carried out based on the criminological substantiation of the findings in the plane of objective theoretical and applied reality, from the subjective position of scientists and the personal view of the author.

Main results of research: the influence of the activities of the subjects of execution of punishments on the process of convicts serving their assigned sentences was revealed, which lies both in the competencies of the institutions executing punishments and in the competencies of the persons vested with the authority to execute them. The author believes that further research into this issue will help achieve the goals of criminal penalties and improve the quality of implementation of the criminal penalties system as a whole.

Keywords: criminal punishment, list and correlation of punishments, activities of subjects of execution of punishment, subjective cognition and perception, subjects of execution and serving of punishment.

ВВЕДЕНИЕ

Объективизм всегда считался тем ориентиром, к которому необходимо стремиться, с чем, в целом, сложно не согласиться. Объективизм всегда характеризовался независимостью оценки. Вместе с тем, такая гонка нередко не позволяет оценить явление всесторонне, что предполагает необходимость оценки его субъективного восприятия.

Оценивая объем правоограничений, предусмотренный сущностью того или иного наказания, ученые, как правило, обращаются

к вопросам их видов, соотношения между собой в конкретном наказании, законодательно предусмотренными возможностями их корректировки в процессе исполнения и отбывания наказания и т. д. Такой подход является классическим и лежит в основе построения перечня уголовных наказаний, имеющего как теоретическое, так и практическое значение.

Вместе с тем, исполнение и отбывание наказаний сопровождается рядом других условий, способных оказать значительное влияние на объем правоограничений, реализуемых в отношении осужденного. Среди них



далеко не последнее значение имеют условия объективного характера, обусловленные компетенцией учреждений и органов, исполняющих наказания, а также субъективного, оценивая которые следует отметить как субъект исполнения назначенного уголовного наказания, так и его субъект его отбывания, т. е. осужденного.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Относительно первого отметим, что его влияние в юридической литературе неоднократно подчеркивалось. Так, В. Н. Орлов отмечает, что субъект исполнения наказания является «одним из элементов состава исполнения наказания» [9, с. 80]. Во многом это обусловлено фактом включения уголовно-исполнительной системы в структуру органов власти, следующих государственной политике в многочисленных областях, среди которых и оправление правосудия, и обращение с осужденными, и т. д.

Учреждения и органы, исполняющие наказания, в своей деятельности руководствуются положениями действующего законодательства и не вправе отступать от них. Однако организация исполнения наказания относится к их компетенции, в рамках которой они могут, как показывает практика, вносить достаточно значимые дополнения в процесс реализации правоограничений конкретного уголовного наказания.

К примеру, наиболее часто назначаемым наказанием является лишение свободы. Ежегодно оно применяется в отношении около 30 % от общего числа осужденных, например, в 2007 г. – 306 866 чел., в 2012 г. – 206 254 чел., в 2017 г. – 200 225 чел., в 2022 г. – 167 166 чел. [10], что происходит на фоне общего снижения количества осужденных лиц. В составе Федеральной службы исполнения наказаний функционирует «35 исправительных колоний особого режима для осужденных при особо опасном рецидиве преступлений, 6 исправительных колоний особого режима для осужденных к пожизненному лишению свободы, 251 исправительная колония строгого режима, 164 исправительные колонии общего режима для осужденных мужчин, исправительные колонии общего режима для осужденных женщин, 94 колонии-поселения, 51 лечебное исправительное учреждение, 23 лечебно-профилактических учреждения, 7 тюрем, 13 воспитательных колоний», предназначенных для исполнения данного наказания [5]. Проведение несложных вычислительных процессов позволяет констатировать, что, с учетом общего количества регионов России, указанных учреждений недостаточно для

соблюдения общего правила, согласно которому отбытие лишения свободы предполагается в пределах субъекта Федерации по месту проживания или осуждения: не во всех регионах страны имеются все виды учреждений, что наиболее характерно для первого и последних двух указанных видов учреждений.

Указанные данные свидетельствуют, что в отношении совершеннолетних мужчин соблюсти указанное требование в целом возможно за некоторыми исключениями, в свою очередь, применительно к несовершеннолетним лицам оно недостижимо, что также относится к совершеннолетним женщинам. В связи с этим последние две категории осужденных нередко направляются для отбывания наказания в другие регионы страны, что ведет к ограничению реализации целого ряда законных интересов, начиная от сложностей в проведении свиданий с близкими лицам, заканчивая выездами за пределы исправительного учреждения. В связи с указанными обстоятельствами А. Я. Гришко указывает, что не имеющий собственных средств осужденный ограничен в возможности использования права выезда [3, с. 30], что, в том числе, связано с необходимостью денежных затрат на следование к месту назначения. Изложенное приводит к фактическому росту объема негативных последствий в связи с осуждением по сравнению с лицами, отбывающими назначенное наказание в виде лишения свободы в пределах региона по месту проживания. Аналогичную проблему в части уголовного наказания в виде ареста отмечает и В. В. Яковлев, что связано с географией России [18, с. 165-167].

Отметим, что решение о месте отбывания назначенного наказания принимает субъект его исполнения, что также относится к предоставлению возможности реализации указанных выше прав и законных интересов. Изложенное также относится к принятому к исполнению наказанию в виде принудительных работ: на сегодняшний день насчитывается лишь 46 исправительных центров.

Аналогичные примеры наблюдаются в деятельности и других субъектов исполнения наказаний. Так, исполнение уголовных наказаний в отношении военнослужащих, предусматривающих изоляцию от общества, сопровождается реализацией таких же последствий, что связано с незначительным количеством мест отбывания наказаний в виде содержания в дисциплинарной воинской части и ареста.

В свою очередь, деятельность субъектов исполнения наказаний без изоляции от общества предусматривает схожие возможности

корректировки лишений и ограничений, обусловленных отбыванием назначенного наказания. Например, такая возможность проявляется при подборе места работы в отношении осужденных к обязательным работам и исправительным работам: как показывает практика, такое место может быть непосредственно рядом с местом проживания, так и в другом районе города или за его пределами, что усложняет процесс трудовой деятельности. В свою очередь, относительно ограничения свободы это проявляется в корректировке судом обязанностей, предусмотренных ч. 1 ст. 53 УК РФ, по представлению той же уголовно-исполнительной инспекции.

Вместе с тем, организационная составляющая исполнения назначенного наказания не может изменить содержание наказания, оно устанавливается действующим законодательством. Она способна лишь оказать влияние на реализацию предусмотренных лишений и ограничений, которое нередко может быть существенным для осужденного и, как следствие, отразиться на фактическом построении перечня уголовных наказаний.

Кроме того, приведенные выше примеры позволяют отметить и роль вспомогательных субъектов контроля за исполнением и отбыванием назначенного наказания, к которым следует отнести администрации организаций, в которых осуществляется трудовая деятельность осужденных в рамках отбывания наказания, предусматривающих таковую в качестве условия течения последнего, социальные службы, подразделения полиции, прокуратуры, суда и т. д. [подробнее 4, с. 48-72].

Например, принимающая непосредственное участие в осуществлении контроля за осужденными без изоляции от общества, служба участковых уполномоченных полиции в лица ее сотрудников предоставляет характеризующую информацию о поведении осужденного по месту проживания, организации по месту получения образования или осуществления трудовой деятельности – о поведении в указанных местах соответственно, на основании чего субъектом исполнения наказания может быть подготовлено представление в суд по вопросу корректировки отбывания назначенного наказания, которое может быть поддержано или не поддержано прокуратурой. Как следует из изложенного, указанные субъекты способны оказать значительное влияние на применяемый объем правоограничений вплоть до изменения назначенного наказания.

К изложенному следует дополнить, что результаты анализа практики деятельности судов свидетельствуют о том, что при

рассмотрении подобных представлений суд далеко не всегда удовлетворяет их. Нередко первое подобное представление по вопросу замены назначенного наказания более строгим не подлежит удовлетворению, суд во время проведения судебного заседания ограничивается фактически проведением воспитательной беседы с осужденным и отказывает в удовлетворении ходатайства. Отметим, что согласно сведениям Судебного департамента полученные нами результаты анализа нашли свое подтверждение: например, за 2007 год судами было рассмотрено 49 683 представления о замене более мягким наказанием или более строгим наказанием, из которых было удовлетворено 34 335, 2012 год – 83 969 и 41 158, 2017 год – 133 258 и 61 923, 2022 год – 181 297 и 69 189 соответственно [11; 12; 16; 17]. Вместе с тем, эти же результаты анализа свидетельствуют о принятии стороны субъекта исполнения наказания почти во всех случаях о корректировке условий отбывания назначенного наказания. Например, по вопросам изменения перечня обязанностей осужденных к ограничению свободы за 2019 год было рассмотрено 5 918 представлений, из которых удовлетворено 4 604, за 2020 год – 7 396 и 5 807, за 2021 год – 8 234 и 6 492, за 2022 г. – 8 234 и 6 492 [12-15].

Указанные примеры свидетельствуют о значительном влиянии иных факторов объективного характера, наряду с которыми также следует отметить факторы субъективного характера, отражающие восприятие назначенного наказания и отношение к нему со стороны лиц исполняющих и отбывающих его.

В продолжение к изложенному выше отметим, что сотрудники субъектов исполнения наказаний имеют прямое отношение к принятию решений в рамках деятельности учреждений и органов, в которых отбывают назначенное наказание осужденные.

В рамках исполнения своих обязанностей сотрудники учреждений и органов, исполняющих уголовных наказания, принимают решения различного характера по вопросам, предусматривающим так называемую «вилку»: при выявлении нарушений, допущенных осужденным, сотрудник вправе как выбрать применяемую меру воздействия, или, в противоположном случае, выбрать применяемую меру поощрения, которая может отличаться при одних и тех же объективных обстоятельствах, так и предоставить или нет возможность реализации законного интереса. При этом принятое решение находится в рамках действующего законодательства, а сотрудник, принимающий решение, не выходит за рамки служебных полномочий.

Вместе с тем, при принятии того или иного решения по вопросам исполнения уголовных наказаний сотрудники руководствуются не только объективными сведениями, но и учитывают внутренние убеждения, взгляды, мнения. Подобные проявления выражаются, например, в рисках создания условий привилегированного положения отдельным осужденным по сравнению с другими, а также, напротив, в создании негативных условий, ухудшающих положение осужденного при отбывании наказания. Примеры проявления подобных случаев нередки в практической деятельности. Нередко они связаны с совершением коррупционных деяний и вымогательства, примеры чего фигурируют в средствах массовой информации [2; 6; 7; 8].

Проведенное нами социологическое исследование среди сотрудников правоохранительных органов, исполняющих уголовные наказания, показало, что влияние субъективного отношения к тому или иному осужденному может иметь существенное значение при отражении карательного содержания уголовного наказания, на что указывают 64 % опрошенных лиц, 31 % признали утверждение о его состоятельности отрицают, а 5 % затруднились ответить на поставленный вопрос¹.

К изложенному следует добавить важный факт, состоящий в том, что рассматриваемый фактор субъективного характера дополнительно находится в корреляционной зависимости от вида исполняемого наказания. В первую очередь, это зависит от условий, в которых исполняется назначенное наказание: присутствуют условия изоляции, или наказание исполняется вне мест принудительной изоляции. Полученные сведения указывают на значительно больший объем влияния субъективного фактора при исполнении наказаний первой из указанных групп – наказания, предусматривающие отбывание в специализированных учреждениях.

Сложившаяся ситуация во многом обусловлена проявлениями профессиональной деформации, связанной с условиями трудовой деятельности: сотрудники, как и осужденные, проводят значительную часть своего времени также в закрытых зданиях без возможности покинуть их, общение с профессиональными преступниками, нередко являющимися членами или сторонниками

криминального сообщества, на протяжении большей части рабочего времени, сконцентрированными на небольшой территории, и т. д. Ученые, исследующие вопрос профессиональной деформации, отмечают ее неизбежность и протекание процесса независимо от желания и воли сотрудников [1, с. 106]. При этом теми же специалистами отмечается, что в значительной степени на протекание процесса профессиональной деформации влияет уровень интеллектуального развития и образования, способствующие повышению психологической защищенности носителя. На этом фоне отметим, что работники субъектов исполнения наказаний без изоляции от общества – это, как правило, лица, имеющие высшее образование, что обусловлено требованиями к замещаемой должности. В свою очередь, сотрудники, исполняющие наказания, связанные с содержанием в специализированных учреждениях, в значительной степени не имеют высшего образования, что негативно отражается не только на состоянии служебной дисциплины, но и влияет на субъективное отношение к исполнению назначенного наказания, а, следовательно, на реализацию его содержания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Завершая рассмотрение обозначенного вопроса, констатируем, что не только общие и специальные правоограничения, предусмотренные уголовными наказаниями, определяют кару, применяемую к лицам, преступившим уголовный закон. К ним следует добавить и компетенцию субъектов, исполняющих уголовные наказания, как государственных органов, так и их работников. При этом оказываемое ими воздействие не имеет прямого влияния, оно может носить только корректирующий характер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вакула, И. М. Гуманитарная составляющая в профессиональном образовании сотрудников органов внутренних дел как способ борьбы с профессиональной деформацией / И. М. Вакула, А. В. Зубарева. – Текст: непосредственный // Философия права. – 2014. – № 4 (65). – С. 106–109.
2. Восемь лет за взятки и покровительство: на Сахалине вынесли приговор бывшему сотруднику ФСИН : сайт информационного агентства «АСТВ». – URL : <https://astv.ru/news/criminal/2022-12-02-vosem-let-za-vzyatki-i-pokrovitel-stvo-na-sahaline-vynesli-prigovor-byvshemu-sotrudniku-fsin?ysclid=lp1d8gibml603855203> (дата обращения 30.11.2023). – Текст: электронный.
3. Гришко, А. Я. О принципах законности и равенства осужденных перед законом / А. Я. Гришко. – Текст:

¹ Анкетирование и опрос проведены среди 560 представителей суда, прокуратуры, правоохранительных органов и Министерства обороны Российской Федерации из 13 субъектов Российской Федерации (республики Бурятия, Дагестан, Карачаево-Черкесская, г. Москва, Владимирская, Вологодская, Ивановская, Кировская, Костромская, Липецкая, Московская, Нижегородская и Рязанская области).

- непосредственный // Человек: преступление и наказание. – 2014. – № 4. – С. 27–31.
4. Звонов, А. В. Правовые аспекты привлечения к ответственности условно осужденных : монография / С. В. Рас-
торопов, А. В. Звонов, С. А. Пичугин. – С. 48–72. – Текст:
непосредственный.
 5. Краткая характеристика уголовно-исполнительной
системы : сайт Федеральной службы исполнения на-
казаний Российской Федерации. – URL : [https://fsin.
gov.ru/structure/inspector/iao/statistika/Kratkaya%20
har-ka%20UIS/](https://fsin.gov.ru/structure/inspector/iao/statistika/Kratkaya%20har-ka%20UIS/) (дата обращения 31.10.2023). – Текст:
электронный.
 6. Лейтенант ФСИН из Петербурга надолго едет в строгую
колонию за взятки с осужденных : сайт интернет-газе-
ты «Фонтанка». – URL : [https://www.fontanka.ru/2023/10
/12/72803009/?ysclid=lpclwhw0fa996578712](https://www.fontanka.ru/2023/10/12/72803009/?ysclid=lpclwhw0fa996578712) (дата обра-
щения 30.11.2023). – Текст: электронный.
 7. На Алтае экс-сотруднику ФСИН дали 10 лет за взя-
тки : сайт ФГБУ «Редакция «Российской газеты». –
URL : [https://rg.ru/2019/01/14/reg-sibfo/na-altae-
eks-sotrudniku-fsin-dali-10-let-za-vzjatki.html](https://rg.ru/2019/01/14/reg-sibfo/na-altae-eks-sotrudniku-fsin-dali-10-let-za-vzjatki.html) (дата об-
ращения 30.11.2023) и др. – Текст: электронный.
 8. На Урале бывший сотрудник ФСИН получил условку за
взятку : сайт информационного агентства «Патрульный
Петербурга». – URL : [https://patrol.spb.ru/news/2023/4/
1/39549?ysclid=lpId3k9kvd932833855](https://patrol.spb.ru/news/2023/4/1/39549?ysclid=lpId3k9kvd932833855) (дата обращения
30.11.2023). – Текст: электронный.
 9. Орлов, В. Н. О субъекте исполнения наказания / В. Н. Ор-
лов. – Текст: непосредственный // Вестн. Сев.-Кавказ.
федер. ун-та. – 2008. – № 1. – С. 80–85.
 10. Основные статистические показатели состояния
судимости в России за 2008–2022 годы : сайт Су-
дебного департамента при Верховном Суде Россий-
ской Федерации. – URL : [http://www.cdep.ru/index.
php?id=79&item=2074](http://www.cdep.ru/index.php?id=79&item=2074) (дата обращения 25.10.2023). –
Текст: электронный.
 11. Отчет о работе судов общей юрисдикции по рассмотре-
нию уголовных дел по первой инстанции за 12 меся-
цев 2017 года. : сайт Федеральной службы исполнения
наказаний Российской Федерации. – URL : [http://www.
cdep.ru/index.php?id=79&item=4476](http://www.cdep.ru/index.php?id=79&item=4476) (дата обращения
06.06.2018). – Текст: электронный.
 12. Отчет о работе судов общей юрисдикции по рассмотре-
нию уголовных дел по первой инстанции за 12 месяцев
2022 года : сайт Судебного департамента при Верхов-
ном суде Российской Федерации. – URL : [http://www.
cdep.ru/index.php?id=79&item=7645](http://www.cdep.ru/index.php?id=79&item=7645) (дата обращения
25.10.2023). – Текст: электронный.
 13. Отчет о работе судов общей юрисдикции по рассмотре-
нию уголовных дел по первой инстанции за 12 месяцев
2019 года. : сайт Судебного департамента при Верхов-
ном суде Российской Федерации. – URL : [http://www.
cdep.ru/index.php?id=79&item=5258](http://www.cdep.ru/index.php?id=79&item=5258) (дата обращения
12.05.2020). – Текст: электронный.
 14. Отчет о работе судов общей юрисдикции по рассмо-
трению уголовных дел по первой инстанции за 12 ме-
сяцев 2020 года. : сайт Судебного департамента при
Верховном суде Российской Федерации. – URL : [http://
www.cdep.ru/index.php?id=79&item=5671](http://www.cdep.ru/index.php?id=79&item=5671) (дата обра-
щения 29.04.2021). – Текст: электронный.
 15. Отчет о работе судов общей юрисдикции по рассмотре-
нию уголовных дел по первой инстанции за 12 месяцев
2021 года. : сайт Судебного департамента при Верхов-
ном суде Российской Федерации. – URL : [http://www.
cdep.ru/index.php?id=79&item=6120](http://www.cdep.ru/index.php?id=79&item=6120) (дата обращения
01.06.2022). – Текст: электронный.
 16. Отчет о работе судов первой инстанции по рассмо-
трению уголовных дел за 12 месяцев 2007 года : сайт
Федеральной службы исполнения наказаний Рос-
сийской Федерации. – URL : [http://www.cdep.ru/index.
php?id=79&item=847](http://www.cdep.ru/index.php?id=79&item=847)(дата обращения 22.07.2016). –
Текст: электронный.
 17. Отчет о работе судов по рассмотрению уголовных дел
по первой инстанции за 12 месяцев 2012 года : сайт
Федеральной службы исполнения наказаний Рос-
сийской Федерации. – URL : [http://www.cdep.ru/index.
php?id=79&item=1775](http://www.cdep.ru/index.php?id=79&item=1775) (дата обращения 22.04.2017). –
Текст: электронный.
 18. Яковлев, В. В. Уголовно-правовая характеристика
ареста: теоретический аспект : дис. ... канд. юрид.
Наук / В. В. Яковлев. – СПб., 1999. – 189 с. – Текст:
непосредственный.



О НЕКОТОРЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАТИВНО-РОЗЫСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И РАССЛЕДОВАНИЯ ПРЕСТУПЛЕНИЙ

Кудрявцев Алексей Вадимович,

доктор юридических наук, доцент,
Владимирский филиал Российской академии
народного хозяйства и государственной
службы при Президенте Российской Федерации,
Владимир, Россия
Академия права и управления
Федеральной службы исполнения наказаний России
Рязань, Россия
НИЦ-3 НИИ ФСИН России
E-mail: kudriavcev.ru@mail.ru
ORCID: 0000-0003-4359-1309

Предмет исследования: оперативно-розыскное сопровождение выявления и расследования преступлений.

Цель исследования: выявить факторы, определяющие необходимость осуществления оперативно-розыскного сопровождения выявления и расследования преступлений; определить содержание оперативно-розыскного сопровождения выявления и расследования преступлений; сформулировать некоторые направления повышения эффективности оперативно-розыскного сопровождения выявления и расследования преступлений.

Методы исследования: в работе использованы общенаучные методы (анализ и синтез, логический, системный), а также частнонаучные методы (социологический, статистический).

Основные результаты исследования: на основании проведённого анализа автором сделаны выводы: о целесообразности дополнения законодательно определённого перечня задач оперативно-розыскной деятельности; о практической обоснованности разработки межведомственного нормативного правового акта, регламентирующего оперативно-розыскное сопровождение уголовного судопроизводства; о необходимости использования возможностей оперативно-розыскного сопровождения не только на досудебных стадиях уголовного процесса, но и на стадии судебного разбирательства.

Ключевые слова: оперативно-розыскное сопровождение; преступление; выявление; расследование; уголовное судопроизводство.

ABOUT SOME DIRECTIONS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF OPERATIONAL SEARCH SUPPORT FOR THE IDENTIFICATION AND INVESTIGATION OF CRIMES

Alexey V. Kudryavtsev

Doctor of Law Sciences, Assistant Professor,
Vladimir branch of RANEPa,
Vladimir, Russia
Academy of the Federal Penitentiary
Service of Russia,
Ryazan, Russia
E-mail: kudriavcev.ru@mail.ru
ORCID: 0000-0003-4359-1309

Subject of research: capabilities of operational investigative support for the detection and investigation of crimes.

Purpose of research: to identify modern factors that determine the need for operational investigative support for the detection and investigation of crimes; determine the content of operational investigative support for the detection and investigation of crimes; to formulate some areas for increasing the efficiency of operational investigative support for the detection and investigation of crimes.

Methods of research: the work used general scientific methods (analysis and synthesis, logical, systemic), as well as special scientific methods (sociological, statistical).

Main results of research: based on the analysis, the author made the following conclusions: on the advisability of supplementing the legally defined list of tasks of operational investigative activities; on the practical validity of developing an interdepartmental normative legal act regulating operational investigative support of criminal proceedings; about the need to use the capabilities of operational investigative support not only at the pre-trial stages of the criminal process, but also at the trial stage.

Keywords: operational investigative support; crime; identification; investigation; criminal proceedings.

ВВЕДЕНИЕ

Противодействие преступности на современном этапе является одной из основных задач, решаемых правоохранительными органами. При этом ряд современных негативных тенденций в развитии преступности делает необходимым повышение эффективности выявления и расследования преступлений.

Что касается общего количества преступлений, то существенно оно не меняется. Однако структура преступности характеризуется определённой динамикой. За период с января по сентябрь 2023 года отмечается рост удельного веса тяжких и особо тяжких преступлений в числе зарегистрированных до

30,4 % (за аналогичный период 2022 года этот показатель составил 27,2 %). На 27,4 % увеличилось количество совершённых мошенничеств, при этом существенное их количество совершено с использованием средств связи и интернета, что затрудняет их выявление и расследование.

За анализируемый период 2023 года было зарегистрировано 489,0 тыс. преступлений (рост составил 29,2 % по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года), совершённых с использованием информационно-телекоммуникационных технологий или в сфере компьютерной информации. Удельный вес данных преступлений в общем



числе зарегистрированных преступлений достиг 33,3 %. При этом более половины указанных преступлений (51,9 %) являются тяжкими и особо тяжкими (их количество в сравнении с аналогичным периодом прошлого года увеличилось на 26,8 %). В общем количестве данных преступлений 77,2 % были совершены с использованием сети «Интернет» (рост в сравнении с прошлогодним показателем составил 36,7 %), 45,0 % были совершены с использованием средств мобильной связи (рост составил 46,7 %). 71,1 % указанных преступлений были совершены путём кражи или мошенничества (рост составил 28,9 %), 12,4 % – это преступления, связанные с незаконным производством, сбытом или пересылкой наркотических средств (рост составил 30,7 %).

За период с января по сентябрь 2023 года количество тяжких и особо тяжких преступлений в общем числе выявленных преступлений экономической направленности составило 62,2 %, что также свидетельствует о сложностях выявления и расследования данных преступлений.

Организованная преступность также демонстрирует негативные тенденции. Так, организованными группами или преступными сообществами за анализируемый период было совершено 25,4 тыс. тяжких и особо тяжких преступлений (рост в сравнении с аналогичным периодом прошлого года составил 13,7 %) [1].

На современном этапе отмечаются негативные тенденции в развитии преступности иностранных граждан. Глава Следственного комитета Российской Федерации А. И. Бастрыкин указывает на увеличение на 21 % тяжких и особо тяжких преступлений, совершённых мигрантами. В их число входит 157 убийств и 63 случаев умышленного причинения тяжкого вреда здоровью, повлекшего смерть потерпевшего. Также зафиксирован рост количества изнасилований на 11 %, а насильственных действий сексуального характера – на 12 % [2].

Генпрокуратура Российской Федерации, характеризуя состояние коррупционной преступности, отмечает увеличение количества выявляемых преступлений указанного вида (на 16,5 %) [3].

Учитывая указанные тенденции преступности, следует отметить усложнение процесса их выявления и раскрытия. Это вызвано тем, что указанные преступления обладают высокой степенью латентности, а лица, их совершившие, могут оказывать противодействие процессам выявления и раскрытия данных деяний.

Сказанное подчёркивает особую значимость оперативно-розыскной деятельности, направленной на сопровождение уголовного судопроизводства по уголовным делам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Вопросы сущности оперативно-розыскного сопровождения уголовного судопроизводства регулярно поднимаются в научной литературе [4–6]. Проведённый нами анализ различных подходов к пониманию сущности исследуемой деятельности позволяет определить оперативно-розыскное сопровождение выявления и расследование преступлений как систему предусмотренных нормативными правовыми актами мер, осуществляемых субъектами оперативно-розыскной деятельности при сопровождении всех этапов расследования и судебного разбирательства в целях обеспечения процессуальной деятельности по уголовным делам.

При этом общее содержание оперативно-розыскного сопровождения может проявляться в следующих сущностных признаках:

- представляет собой систему оперативно-розыскных мероприятий, обеспечивающих оптимальное выявление и проведение расследования преступления;
- определяет организационные особенности взаимодействия оперативных работников со следователем, а также с представителями различных контролирующих и надзирающих структур;
- позволяет выявлять и устранять факты криминального противодействия уголовному судопроизводству [7, с. 53].

Отличаясь возможностью применения специфических сил, средств и методов, оперативно-розыскная деятельность может быть более эффективно использована в процессе установления объективной истины в сравнении с уголовно-процессуальной деятельностью, что связано в большей степени с существенной ограниченностью её возможностей за счёт законодательной формализованности уголовно-процессуальных процедур. Кроме того, использование негласной формы проведения оперативно-розыскных мероприятий делает возможным получение широкого спектра информации, имеющей значение для уголовного судопроизводства.

Существенное значение для уголовного судопроизводства имеет своевременное выявление и нейтрализация фактов противодействия ходу расследования и судебного разбирательства.

В зависимости от форм реализации указанное противодействие со стороны подозреваемых (обвиняемых) и лиц из числа их связей

может иметь легальный характер, что проявляется в использовании нормативно закреплённых уголовно-процессуальных механизмов для создания препятствий в осуществлении расследования и судебного разбирательства по уголовному делу, а также скрытое, проявляющееся в реализации, как правило, противоправных мер. Суть указанных форм позволяет относить их в первом случае к правомерному, в другом – к криминальному противодействию расследованию и судебному разбирательству по уголовным делам. Наиболее опасными проявлениями криминального противодействия могут выступать оказание неправомерного давления на участников уголовного процесса с использованием угроз, шантажа, применении в их отношении физического насилия [8, с. 133].

Именно в рамках оперативно-розыскного сопровождения уголовного судопроизводства становится возможным выявление и нейтрализация криминального противодействия.

Данный вывод подтверждается результатами проведённого нами опроса следователей органов внутренних дел. Так, 78 % респондентов отметили, что наибольшей эффективностью в выявлении и нейтрализации криминального противодействия ходу расследования и судебного разбирательства по уголовным делам обладает оперативно-розыскное сопровождение уголовного судопроизводства.

Учитывая описанные выше тенденции современной российской преступности, а также значение оперативно-розыскного сопровождения выявления и раскрытия преступлений, можно выделить следующие направления его развития.

1. Статью 2 федерального закона «Об оперативно-розыскной деятельности» целесообразно дополнить задачей оперативно-розыскной деятельности, заключающейся в осуществлении оперативно-розыскного сопровождения выявления и расследования преступлений. Это позволит расширить возможности использования инструментария оперативно-розыскной деятельности в уголовном процессе.

2. На наш взгляд, на современном этапе существует целесообразность разработки межведомственного нормативного правового акта, регламентирующего организационные, методические и тактические аспекты оперативно-розыскного сопровождения уголовного судопроизводства.

3. С учётом существенного роста количества преступлений, совершаемых с использованием киберпространства, а также широким применением преступниками разнообразных

технических средств в процессе совершения преступлений, серьёзное значение имеет повышение уровня технической оснащённости оперативных подразделений правоохранительных органов, в том числе, использование возможностей искусственного интеллекта при осуществлении оперативно-розыскного сопровождения выявления и расследования преступлений.

4. Возможности оперативно-розыскного сопровождения целесообразно использовать не только на досудебных стадиях уголовного процесса, но и на стадии судебного разбирательства. В значительной степени это связано с возможными попытками осуществления противодействия уголовному судопроизводству, которое может иметь место как на досудебных стадиях процесса, так и на стадии судебного разбирательства.

Специфика указанного противодействия состоит в проявлении различных форм данной деятельности со стороны подозреваемых, обвиняемых и осуждённых в зависимости от стадии уголовного судопроизводства. Проведённые нами опросы сотрудников органов внутренних дел, осуществляющих оперативно-розыскное сопровождение выявления и расследования преступлений, свидетельствуют о существенном снижении (практически прекращении) проведения оперативно-розыскных мероприятий по уголовным делам, направленным в суд, что фактически лишает данную стадию возможности использования оперативно-розыскной деятельности для решения задач уголовного судопроизводства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Таким образом, подводя итог, можно отметить следующее. Современные характеристики и тенденции преступности обуславливают необходимость оптимизации процесса противодействия ей. Одним из наиболее действенных инструментов противодействия преступности в настоящее время является использование возможностей оперативно-розыскной деятельности, в том числе, в процессе оперативно-розыскного сопровождения уголовного судопроизводства. В процессе оперативно-розыскного сопровождения решается целый ряд задач, таких как получение информации, имеющей значение для расследования и судебного разбирательства; розыск скрывшихся от органов расследования и суда обвиняемых; установление свидетелей преступления; нейтрализация противодействия ходу расследования и судебного разбирательства и т. д. Обозначенные в данной статье меры, по нашему мнению, позволят повысить эффективность оперативно-розыскного

сопровождения выявления и расследования преступлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистика МВД России. – URL: мвд.рф/dejatelnost/statistics. – Текст: электронный.
2. Бастрыкин: С начала года в суды направлено 1200 дел в отношении мигрантов // Российская газета. 19.09.2023. – URL: <https://rg.ru/2023/09/19/bastrykin-s-nachala-goda-v-sudy-napravleno-1200-del-v-otnoshenii-migrantov.html>. – Текст: электронный.
3. В России выявлено рекордное за восемь лет число коррупционных преступлений // Коммерсант. 30.08.2021. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4965965>. – Текст: электронный.
4. Александров, А. И. Оперативно-розыскное сопровождение уголовного преследования организованных преступных групп: дис...канд. юрид. наук / А. И. Александров. – Владимир, 2006. – Текст: непосредственный.
5. Жданов, А. А. Определение понятия оперативно-розыскного сопровождения расследования преступлений / А. А. Жданов. – Текст: непосредственный // Науч. вестн. Омской акад. МВД России. – 2012. – № 2.
6. Замылин, Е. И. «Оперативное сопровождение» или «оперативное обеспечение» (о взаимодействии следственных и оперативных аппаратов в условиях противодействия расследованию) / Е. И. Замылин. – Текст: непосредственный // Вестн. Вол-гогр. акад. МВД России. – 2013. – № 3.
7. Кудрявцев, А. В. Сущность и особенности оперативно-розыскного сопровождения выявления и предварительного расследования по делам о коррупционных преступлениях должностных лиц органов местного самоуправления / А. В. Кудрявцев, Н. В. Зуйкова. – Текст: непосредственный // Вестник Владимирского юридического института. – 2021. – № 1 (58).
8. Кудрявцев, А. В. Отдельные особенности прокурорского надзора за исполнением законов при оперативно-розыском сопровождении уголовного судопроизводства по делам об убийствах, совершенных по найму / А. В. Кудрявцев, Р. Р. Насыров. – Текст: непосредственный // Вестник Уфимского юридического института МВД России. – 2021. – № 1 (91).
9. Иванов, П. И. Оперативно-розыскное сопровождение как элемент расследования преступления / П. И. Иванов. – Текст: непосредственный // Закон и право. – 2022. – № 3.
10. Иванов, П. И. К вопросу об оперативно-розыском сопровождении предварительного расследования уголовных дел о незаконном обороте наркотиков и судебного разбирательства (понятие, сущность и содержание) / П. И. Иванов. – Текст: непосредственный // Вестник Дальневосточного юрид. ин-та МВД России. – 2021. – № 4 (57).
11. Самоделкин, А. С. Современные методы выявления и раскрытия преступлений, совершаемых с использованием цифровых технологий А. С. Самоделкин, С. В. Тимофеев. – Текст: непосредственный // Вестник Восточно-Сибирского ин-та МВД России. – 2022. – № 2 (101).
12. Кондратьев, М. В. Оперативно-розыскная методика выявления, пресечения и раскрытия преступлений, связанных с незаконным сбытом наркотических средств / М. В. Кондратьев. – Текст: непосредственный // Труды Академии МВД России. – 2023. – № 4 (68).
13. Кудрявцев, А. В. Отдельные особенности прокурорского надзора за исполнением законов при оперативно-розыском сопровождении уголовного судопроизводства по делам об убийствах, совершенных по найму / А. В. Кудрявцев, Р. Р. Насыров. – Текст: непосредственный // Вестник Уфимского юридического института МВД России. – 2021. – № 1 (91).
14. Мелихов, А. И. Соотношение понятий оперативно-розыскных обеспечения и сопровождения / А. И. Мелихов. – Текст: непосредственный // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. – 2020. – № 4 (95).
15. Яскевич, А. В. Оперативно-розыскное сопровождение в теории оперативно-розыскной деятельности / А. В. Яскевич, А. П. Стефаненко. – Текст: непосредственный // Вестник академии МВД Республики Беларусь. – 2021. – № 1 (41).



ХУЛИГАНСТВО, СОВЕРШЕННОЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАСИЛИЯ К ГРАЖДНАМ: ПРОБЛЕМЫ КВАЛИФИКАЦИИ

Меньшикова Анна Геннадьевна,
кандидат юридических наук, доцент,
Уральский государственный
юридический университет
имени В.Ф. Яковлева
Екатеринбург, Россия
E-mail.ru: menshikova_anna@mail.ru

Предмет исследования: нормы уголовного закона, устанавливающие ответственность за хулиганство, за преступления против личности, совершенные из хулиганских побуждений, а также разъяснения, отраженные в Постановлениях Пленума ВС РФ от 15.11.2007 № 45, от 27.12.2002 № 29, от 04.12.2014 № 16.

Цель исследования: раскрыть понимание «насилия» в рамках ст. 213 УК РФ, на основании чего сформулировать правила квалификации вменения по совокупности или без с насильственным хулиганством преступлений против личности, совершенных из хулиганских побуждений.

Методы и объекты исследования: в качестве основных методов используются формально-логический метод, методы аналогии и обобщения, а также сравнительно-правовой и формально-юридический методы исследования.

Основные результаты исследования: сформулированы предложения по совершенствованию положений действующего Постановления Пленума Верховного Суда РФ от 15.11.2007 № 45 «О судебной практике по уголовным делам о хулиганстве и иных преступлениях, совершенных из хулиганских побуждений» в части понимания насилия, закрепленного в п. «а» ч. 1 ст. 213 УК РФ, а также правил квалификации указанного преступления по совокупности или без с преступлениями против личности, совершенными из хулиганских побуждений.

Ключевые слова: хулиганство, насилие, преступления против личности, сложное составное преступление, Постановление Пленума Верховного Суда РФ.

HOLIGANITY COMMITTED WITH VIOLENCE AGAINST CITIZENS: PROBLEMS OF QUALIFICATION

Anna G. Menshikova

Candidate of Law Sciences, Assistant Professor,
Ural State Law University named after V. F. Yakovlev,
Yekaterinburg, Russia
E-mail.ru: menshikova_anna@mail.ru

Subject of research: norms of criminal law establishing liability for hooliganism, for crimes against the person committed out of hooligan motives, as well as explanations reflected in the Resolutions of the Plenum of the Armed Forces of the Russian Federation dated November 15, 2007 № 45, dated December 27, 2002 № 29, dated December 4, 2014 № 16.

Purpose of research: to reveal the understanding of «violence» within the framework of Art. 213 of the Criminal Code of the Russian Federation, on the basis of which to formulate rules for qualifying the imputation, in aggregate or without violent hooliganism, of crimes against the person committed out of hooligan motives.

Methods and objects of research: the main methods used are the formal logical method, methods of analogy and generalization, as well as comparative legal and formal legal research methods.

Main results of research: proposals were formulated to improve the provisions of the current Resolution of the Plenum of the Supreme Court of the Russian Federation dated November 15, 2007 № 45 «On judicial practice in criminal cases of hooliganism and other crimes committed from hooligan motives» in terms of the understanding of violence enshrined in paragraph «a» part 1 art. 213 of the Criminal Code of the Russian Federation, as well as the rules for qualifying this crime in combination or without crimes against the person committed out of hooligan motives.

Keywords: hooliganism, violence, crimes against the person, complex compound crime, Resolution of the Plenum of the Supreme Court of the Russian Federation.

ВВЕДЕНИЕ

Диспозиция статьи 213 Уголовного кодекса Российской Федерации от 13.06.1996 №63-ФЗ (ред. от 12.10.2023) (далее – УК РФ) не так давно претерпела существенные изменения. Со вступлением в силу Федерального закона «О внесении изменений в статью 213 Уголовного кодекса Российской Федерации» от 30.12.2020 № 543-ФЗ из ч. 1 ст. 213 УК РФ признак «с применением оружия или предметов, используемых в качестве оружия» трансформировался в квалифицирующий признак, и, соответственно, был перенесен законодателем в ч. 2 ст. 213 УК РФ. Его место занял признак, характеризующий способ совершения хулиганства, – «с применением насилия к гражданам либо угрозой его применения», который в настоящее время носит обязательное значение для квалификации содеянного альтернативно наравне с мотивом или определенным местом совершения анализируемого преступления.

Новая редакция п. «а» ч. 1 ст. 213 УК РФ вступила в силу с 10 января 2021 года, и, несмотря на то, что прошло уже около трех лет ее действия, соответствующих разъяснений относительно понимания и применения данного признака в правоприменительной деятельности на уровне высшей судебной инстанции не появилось. Постановление Пленума Верховного Суда РФ от 15.11.2007 № 45 «О судебной практике по уголовным делам о хулиганстве и иных преступлениях, совершенных из хулиганских побуждений» (далее – Постановление Пленума ВС РФ от 15.11.2007 № 45) содержит разъяснения лишь применительно к устаревшей редакции статьи, соответствующих изменений принято не было.

Такое положение вещей не способствует единообразию в правоприменительной деятельности, на практике все чаще возникают ситуации, когда при одинаковых обстоятельствах содеянного в одних случаях действия виновных лиц квалифицируются только по п.



«а» ч. 1 ст. 213 УК РФ, в других – по совокупности с составами преступления, предусмотренными главой 16 УК РФ (преступления против жизни и здоровья).

Так, например, приговором Подольского городского суда Московской области по делу № 1-416/2021 Б. был признан виновным в совершении преступлений, предусмотренных п. «а» ч. 1 ст. 213 УК РФ и п. «д» ч. 2 ст. 112 УК РФ. Из обстоятельств содеянного следует, что Б., находясь в общественном месте в присутствии посторонних граждан, действуя беспричинно, в отсутствие личного конфликта с ранее незнакомой ему П., нанес ей один удар правой ногой, от которого последняя потеряла равновесие и упала. После чего Б. нанес не менее пяти ударов обутыми ногами по телу П., причинив тем вред здоровью средней тяжести, по признаку длительного расстройства здоровья продолжительностью свыше трех недель (более 21 дня). При похожей ситуации, М., находясь в общественном месте в состоянии алкогольного опьянения, на территории примыкающей к зданию кафе «У Дона», используя малозначительный повод в виде конфликта между ему ранее знакомым С. и П., в присутствии граждан, произвел выстрел дробовым зарядом в сторону находящихся на улице посетителей кафе, в том числе, и в сторону находящихся на указанном участке местности П., и П № 2, причинив П. вред здоровью средней тяжести, и причинив П. № 2 повреждение, не повлекшее вреда здоровью человека, был осужден Серафимовичским районным судом Волгоградской области по делу № 1-32/2021 только по п. «а» ч. 1 ст. 213 УК РФ без дополнительной квалификации по соответствующим составам преступлениям против здоровья.

И приведенные ситуации не являются единственными примерами противоречивой судебной практики. Различные варианты квалификации хулиганства с применением насилия в совокупности с преступлениями, предусмотренными главой 16 УК РФ, или без, можно также проследить в приговорах Петроградского районного суда Санкт-Петербурга по делу № 1-238/2021, Апшеронского районного суда Краснодарского края по делу № 1-242/2021, Муромцевского районного суда Омской области № 1-11/2021, Шадринского районного суда Курганской области № 1-295/2021, Карагайского районного суда Пермского края № 1-83/2021.

Соответственно, отсутствие в настоящее время в уголовном законе и на уровне разъяснений высшей судебной инстанции определения и понимания «насилия» в рамках ст. 213 УК РФ приводит к появлению практической

проблемы – отграничения хулиганства, предусмотренного п. «а» ч. 1 ст. 213 УК РФ (хулиганство, совершенное с применением насилия к гражданам), от преступлений главы 16 УК РФ. Сложность вызывает вопрос, в каких случаях содеянное виновным лицом следует квалифицировать только по п. «а» ч. 1 ст. 213 УК РФ, а в каких – требуется совокупность с такими составами преступления, как п. «д» ч. 2 ст. 111 УК РФ (умышленное причинение тяжкого вреда здоровью из хулиганских побуждений), п. «д» ч. 2 ст. 112 УК РФ (умышленное причинение средней тяжести вреда здоровью из хулиганских побуждений), п. «а» ч. 2 ст. 115 УК РФ (умышленное причинение легкого вреда здоровью из хулиганских побуждений), ст. 116 УК РФ (побои из хулиганских побуждений). В науке уголовного права также отмечается проблемность в определении вариантов подобной квалификации [9, с. 85; 7, с. 275].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Традиционно уголовным законом и наукой уголовного права насилие подразделяется на два вида: физическое или психическое, каждый из которых, в свою очередь, рассматривается в качестве насилия, опасного для жизни или здоровья, и не опасного для жизни или здоровья. В настоящее время в УК РФ насчитывается около 27 уголовно-правовых норм, где законодатель использует указанные данные виды насилия либо в качестве обязательного составообразующего признака (например, ч. 1 ст. 162, ч. 1 ст. 318, ч. 1 ст. 321 УК РФ), либо в качестве квалифицирующего признака (например, п. «в» ч. 2 ст. 126, п. «г» ч. 2 ст. 161, п. «б» ч. 2 ст. 172.4 УК РФ).

Понимание того, что следует относить к насилию, опасному или не опасному для жизни или здоровья, не вызывает дискуссий ни в научной среде, ни в правоприменительной практике. На уровне разъяснений высшей судебной инстанции этот вопрос решен единообразно, несмотря на толкование применительно к отдельным составам преступления. Анализ, например, Постановления Пленума Верховного Суда РФ от 04.12.2014 № 16 «О судебной практике по делам о преступлениях против половой неприкосновенности и половой свободы личности» (далее – Постановление Пленума ВС РФ от 04.12.2014 № 16), Постановления Пленума Верховного Суда РФ от 27.12.2002 № 29 «О судебной практике по делам о краже, грабеже и разбое» (далее – Постановление Пленума ВС РФ от 27.12.2002 № 29), Постановления Пленума Верховного Суда РФ от 01.06.2023 № 14 «О некоторых вопросах судебной практики по уголовным делам о преступлениях, предусмотренных

статьями 317, 318, 319 Уголовного кодекса Российской Федерации» позволяет констатировать, что насилие, опасное для жизни или здоровья, включает в себя причинение тяжкого, средней тяжести или легкого вреда здоровью, а к насилию, не опасному для жизни или здоровья, следует относить причинение побоев или иных насильственных действий, связанных с причинением потерпевшему физической боли, исключая причинение какого-либо вреда здоровью.

В п. «а» ч. 1 ст. 213 УК РФ законодатель не конкретизирует вид насилия, не определяет опасность или неопасность его для жизни или здоровья. В связи с чем и появляется потребность пояснения и уточнения положения, какой причиненный вред при квалификации содеянного полностью поглощается основным составом хулиганства, а какой – требует вменения по совокупности с составами преступлений, посягающих на здоровье гражданина.

В первую очередь, хочется отметить, что позиция, закреплённая на уровне разъяснений высшей судебной инстанции в пункте 11 Постановления Пленума ВС РФ от 15.11.2007 № 45, о том, что нанесение побоев или причинения вреда здоровью различной степени тяжести в процессе хулиганства требует квалификации содеянного по совокупности преступлений против личности, не актуальна в настоящее время в связи с законодательной трансформацией.

В науке уголовного права встречается достаточно оригинальная позиция, когда авторы отстаивают идею о нецелесообразности введения такого криминализирующего признака «с применением насилия к гражданам». При этом в ситуациях, когда хулиганство совершено с применением насилия к гражданам, предлагают следующее правило квалификации – фактически действия необходимо квалифицировать в зависимости от наступивших последствий: при причинении тяжкого вреда здоровью – по п. «д» ч. 2 ст. 111 УК РФ; при причинении средней тяжести вреда здоровью – по п. «д» ч. 2 ст. 112 УК РФ; при причинении легкого вреда здоровью – по п. «а» ч. 2 ст. 115 УК РФ; при причинении побоев и иной физической боли – по ст. 116 УК РФ без вменения по совокупности п. «а» ч. 1 ст. 213 УК РФ [2]. Доводы основаны на правилах квалификации при конкуренции уголовно-правовых норм, где насильственное хулиганство – это общая норма, а преступления против личности из хулиганских побуждений – специальные, а, соответственно, предпочтение необходимо отдавать именно специальным нормам. Общая норма по охвату

регулируемых отношений, а, соответственно, и наличию признаков, шире, в то время как специальная норма содержит уточняющие или конкретизирующие общую норму признаки. Поэтому даже если наличествуют так называемая полная и неполная конкуренция (за счет дополнения специальной нормы такими признаками, которые позволяют охватить часть случаев, выходящих за границы действия общей нормы) [3, с. 224], специальная норма в любом случае должна сохранять в себе родовые признаки общей нормы. Соответственно, например, причинение вреда здоровью различной степени тяжести из хулиганских побуждений должно включать в себя родовые признаки хулиганства, такие как выполнение объективной стороны в виде грубого нарушения общественного порядка, выражающее явное неуважение к обществу, что представляется крайне спорным, исходя из законодательного формулирования и закрепления конструкции преступлений против личности.

Иной вариант квалификации, подразумевающий включение всех видов насилия (и опасного и неопасного для жизни или здоровья) в п. «а» ч. 1 ст. 213 УК РФ, а, соответственно, не требующего дополнительной квалификации по совокупности с преступлениями против личности, также представляется нецелесообразным. Подтверждением этому является устоявшаяся правоприменительная практика и воля законодателя, выразившаяся в конструировании уголовно-правовых норм. Создавая норму, предусматривающую ответственность за причинение тяжкого вреда здоровью из хулиганских побуждений, законодатель отнес ее к категории тяжких преступлений, предусмотрев максимальное наказание в виде лишения свободы сроком на десять лет. Преступление, предусмотренное п. «а» ч. 1 ст. 213 УК РФ, исходя из анализа санкции статьи, относится к категории средней тяжести (лишение свободы сроком до пяти лет). Соответственно, преступление, обладающее пониженной общественной опасностью (насильственное хулиганство), не может включать в себя преступление, обладающее повышенной общественной опасностью. Более того, аналогичного мнения придерживается и правоприменительная практика: так, Верховный Суд РФ прямо определяет правило квалификации при совершении убийства в процессе хулиганства как реальную совокупность двух самостоятельных преступлений (пункт 12 Постановления Пленума Верховного Суда РФ от 27.01.1999 № 1 «О судебной практике по делам об убийстве (ст. 105 УК РФ)»).

В доктрине уголовного права встречается позиция относительно вменения по совокупности с насильственным хулиганством только составов преступления, связанных с причинением различной степени тяжести вреда здоровью из хулиганских побуждений, нанесением побоев и иных насильственных действий, которые по тем же мотивам полностью охватываются п. «а» ч. 1 ст. 213 УК РФ [1]. Фактически автор под физическим насилием в рамках основного состава хулиганства понимает насилие, не опасное для жизни или здоровья, хотя законодатель не дает конкретизацию этому признаку. Доводы основаны на анализе норм и разъяснений высшей судебной инстанции применительно к изнасилованию и насильственным действиям сексуального характера. Мы солидарны в том, что в Постановлении Пленума от 04.12.2014 № 16 Верховный Суд РФ наиболее полно и развернуто представляет варианты квалификации анализируемых преступлений в совокупности или без с преступлениями против личности, и такая практика, бесспорно, положительным образом сказывается на всей правоприменительной деятельности. Но это не единичный случай. В Постановлении Пленума от 27.12.2002 № 29 Верховный Суд РФ аналогичным образом определяет, что умышленное причинение легкого или средней тяжести вреда здоровью охватывается составом разбойного нападения, и дополнительной квалификации по статьям 115 или 112 УК РФ не требуется. С одним-единственным исключением – при причинении в процессе изнасилования или насильственных действий сексуального характера тяжкого вреда здоровью требуется дополнительно квалифицировать по ст. 111 УК РФ, а при разбойном нападении – следует квалифицировать только по п. «в» ч. 4 ст. 162 УК РФ без совокупности. Однако применять одинаковые правила квалификации к различным по категориям преступлениям, представляется нецелесообразным, нельзя ставить в один ряд хулиганство, изнасилование и разбой. Преступления, предусмотренные ч. 1 ст. 131, ч. 1 ст. 132, ч. 1 ст. 162 УК РФ, относятся к тяжким по категории преступлениям, основной состав хулиганства, предусматривающий применение насилия, – к категории средней тяжести.

Бесспорно, общей характеристикой этих преступлений является отнесение их законодателем к сложным составным преступлениям, где законодатель в качестве способа предусмотрел применение насилия, различные вариации которого, в свою очередь, могут образовывать самостоятельные составы простого преступления, например, против

личности. Случаи, когда определенные противоправные действия включаются в содержание другого, как правило, более тяжкого преступления, и теряют значение самостоятельного преступного деяния, рассматриваются одними авторами в рамках учения о составе преступления в качестве поглощения преступлений [4, с. 379], другие – в плоскости учения о конкуренции уголовно-правовых норм [8; 10; 6, с. 56]. Но отнесение этого вопроса к тому или иному институту уголовного права не влияет существенным образом на решение проблемного аспекта. Решая вопрос об условиях и пределах поглощения насильственных преступных действий, являющихся формой, средством или способом совершения другого преступления, необходимо исходить из того, что такие преступные действия должны быть наказуемы по закону не более строго, чем то преступление, способом совершения которого они являются. Исходя из этого, вытекает правило квалификации при несоблюдении условия поглощения преступлений – преступное действие, входящее в составное преступление, следует квалифицировать по совокупности с ним во всех случаях, когда санкция нормы, предусматривающей ответственность за совершение «дополнительного» деяния как самостоятельно-го преступления, выше санкции нормы об ответственности за составное преступление или одинакова с ней [5, с. 106], которое, на наш взгляд, справедливо применимо к исследуемому вопросу.

Как уже указывалось ранее, насильственное хулиганство относится к категории средней тяжести, поскольку в санкции статьи предусмотрено максимальное наказание в виде лишения свободы сроком пять лет, умышленное причинение тяжкого вреда здоровью из хулиганских побуждений является тяжким преступлением (лишение свободы на срок до десяти лет), умышленное причинение средней тяжести вреда здоровью из хулиганских побуждений – по категории средней тяжести (лишение свободы на срок до пяти лет), умышленное причинение легкого вреда здоровью из хулиганских побуждений и побои – по категории небольшой тяжести (лишение свободы на срок до двух лет). Соответственно, только нанесение побоев и умышленное причинение легкого вреда здоровью из хулиганских побуждений поглощается п. «а» ч. 1 ст. 213 УК РФ, а причинение тяжкого и средней тяжести вреда здоровью при совершении хулиганства следует квалифицировать по совокупности с ним. В науке уголовного права к таким же выводам приходят авторы, но через обоснование подобной квалификации сквозь

призму учения о конкуренции уголовно-правовых норм [8, 10].

Более того, данное правило применяется к таким сложным составным преступлениям, как изнасилование и разбойное нападение. Санкция ч. 1 ст. 131 УК РФ предусматривает наказание до шести лет лишения свободы, ч. 1 ст. 162 УК РФ – до восьми лет лишения свободы, а, значит, данные нормы поглощают преступление, предусмотренное и ч. 1 и ч. 2 ст. 112 УК РФ, которое является способом их совершения.

Следует отметить, что в правоприменительной практике последних двух лет все чаще встречаются решения, где причинение средней тяжести вреда здоровью в процессе совершения хулиганства оценивалось судом по совокупности насильственного хулиганства и умышленного причинения средней тяжести вреда здоровью из хулиганских побуждений (приговор Черкесского городского суда Карачаево-Черкесской Республики по делу № 1-132/2023, приговор Ломоносовского районного суда г. Архангельска по делу № 1-488/2022, приговор Нижнекамского городского суда Республики Татарстан по делу № 1-91/2023, приговор Советского районного суда г. Махачкалы по делу № 1-184/2023).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В целях единообразного применения уголовного закона, исключения правоприменительных ошибок в квалификации насильственного хулиганства предлагается включить в действующее Постановление Пленума Верховного Суда РФ от 15.11.2007 № 45 «О судебной практике по делам о хулиганстве и иных преступлениях, совершенных из хулиганских побуждений» следующие положения.

Под насилием, предусмотренным п. «а» ч. 1 ст. 213 УК РФ, следует понимать как насилие, опасное для жизни или здоровья, так и не опасное для жизни или здоровья.

Под насилием, не опасным для жизни или здоровья, следует понимать побои или совершение иных насильственных действий, связанных с причинением потерпевшему физической боли.

Под насилием, опасным для жизни или здоровья, следует понимать такое насилие, которое повлекло причинение тяжкого или средней тяжести вреда здоровью потерпевшего, а также причинение легкого вреда здоровью, вызвавшего кратковременное расстройство здоровья или незначительную стойкую утрату общей трудоспособности.

Действия, направленные на грубое нарушение общественного порядка, выражающие явное неуважение к обществу, сопряженные с нанесением побоев, совершением иных

насильственных действий, связанных с причинением потерпевшему физической боли, а также причинением легкого вреда здоровью, охватываются п. «а» ч. 1 ст. 213 УК РФ.

Умышленное причинение тяжкого вреда здоровью или средней тяжести вреда здоровью потерпевшему при совершении хулиганства требует дополнительной квалификации по соответствующей части ст. 111 или ст. 112 УК РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов, М. Н. Состав «хулиганство» в Уголовном кодексе РФ: временная трансформация / М. Н. Белов. – Текст: непосредственный // Российский судья. – 2021. – № 10.
2. Жадяева, М. А. Общественная опасность «насильственного» и «вооруженного» хулиганства: проблемы законодательной техники и правоприменения / М. А. Жадяева, И. Ю. Янина. – Текст: непосредственный // Российский судья. – 2022. – № 2.
3. Кудрявцев, В. Н. Общая теория квалификации преступлений / В. Н. Кудрявцев ; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрист, 2001. – 302 с. – Текст: непосредственный.
4. Малков, В. П. Избранные труды : в 3-х т. / В. П. Малков. – Т. 2. – Казань: Издательство «Познание» Института экономики, управления и права, 2011. – 524 с. – Текст: непосредственный.
5. Наумов, А. В. Применение уголовно-правовых норм / А. В. Наумов. Волгоград: Издательство ВСШ МВД СССР, 1973. – 176 с. – Текст: непосредственный.
6. Плешаков, А. М. Использование животных при хулиганстве и иных преступлениях, совершенных из хулиганских побуждений / А. М. Плешаков. – Текст: непосредственный // Сибирский юридический вестник. – 2022. – № 3 (98). – С. 55–59.
7. Ступина, С. А. К вопросу о квалификации хулиганства, совершенного с применением насилия к гражданам либо угрозой его применения / С. А. Ступина. – Текст: непосредственный // Евразийский юридический журнал. – 2021. – № 4 (155). – С. 273–275.
8. Харламов, Д. Д. Дискуссионные вопросы квалификации хулиганства / Д. Д. Харламов. – Текст: непосредственный // Вестник Московского университета. Серия 11. Право. – 2022. – № 6.
9. Федик, Е. Н. Вопросы законодательства и практики уголовной ответственности за хулиганство / Е. Н. Федик, А. Д. Щербаков. – Текст: непосредственный // Российское правосудие. – 2022. – № 3. – С. 82–88.
10. Яковлева, Л. В. Спорные вопросы квалификации хулиганства, совершенного с применением насилия в Московском метрополитене / Л. В. Яковлева, Е. И. Куприянов. – Текст: непосредственный // Российский следователь. – 2022. – № 10.



НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ НА ЭКСПЕРТИЗУ В ОТНОШЕНИИ ЭКСТРЕМИСТСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ «АРЕСТАНТСКОЕ УГОЛОВНОЕ ЕДИНСТВО»

Хохрин Сергей Александрович,
кандидат юридических наук, доцент,
Югорский государственный университет
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: hohrinsa@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-0900-1195

Предмет исследования: материалы, представленные для подготовки заключений по криминологическим экспертизам.

Цель исследования: выяснить, какие материалы требуются для проведения экспертизы, как они влияют на выявление признаков функционирования ячеек экстремистской организации «Арестантское уголовное единство» (далее – АУЕ) на территории муниципального образования или пенитенциарного учреждения. Провести анализ материалов, представленных для проведения экспертизы, и выявить основные характерные ошибки, допускаемые при их подготовке, с целью дальнейшей предупредительной работы, направленной на недопущение данных ошибок.

Методы исследования: в статье использованы такие общенаучные методы исследования как: обобщение, анализ и синтез, конкретизация.

Основные результаты исследования: определены группы основных материалов, представляемых на экспертизу, обозначены основные ошибки, совершаемые при подготовке данных материалов и при проведении подготовительных мероприятий по назначению криминологических экспертиз. Автор полагает, формирование наиболее часто встречающихся ошибок допущенных при подготовке материалов для проведения криминологической по выявлению признаков функционирования ячеек экстремистских организаций на территории муниципальных образований позволит принять меры по их недопущению.

Ключевые слова: криминологическая экспертиза, экстремистская организация, воровской уклад, традиции, криминальная субкультура, преступность, понятийный аппарат.

SOME SIGNS OF AN EXTREMIIST ORGANIZATION «ARESTANT CRIMINAL UNITY» FORMED AS A RESULT OF THE ANALYSIS OF MATERIALS SUBMITTED FOR EXAMINATION

Sergey A. Khohrin

Candidate of Law Sciences, Associate Professor,
Yugra State University
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: hohrinsa@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-0900-1195

Subject of research: materials submitted for the preparation of conclusions on criminological examinations.

Purpose of research: to find out what materials are required for the examination. How do they influence the identification of signs of the functioning of cells of the extremist organization AUE on the territory of a municipality or penitentiary institution? Conduct an analysis of the materials submitted for the examination and identify the main characteristic errors made during their preparation, with the aim of further preventive work aimed at preventing these errors.

Methods of research: the article uses such general scientific research methods as: generalization, analysis and synthesis, specification.

Main results of research: groups of basic materials submitted for examination have been identified, and the main mistakes made in the preparation of these materials and during preparatory activities for the appointment of criminological examinations have been identified. The author believes that the formation of the most common errors made during the preparation of materials for conducting criminological investigations to identify signs of the functioning of cells of extremist organizations on the territory of municipalities will make it possible to take measures to prevent them.

Keywords: criminological expertise, extremist organization, thief's way, traditions, criminal subculture, crime, conceptual apparatus.

ВВЕДЕНИЕ

В качестве одного из мероприятий стадии досудебного производства законодателем в 27 главе УПК РФ предусмотрено проведение судебной экспертизы. Помимо формирования доказательной базы, криминологическая экспертиза способствует пониманию особенностей и специфики совершения конкретного преступления, определению характерных черт, присущих той или иной группы преступности. Анализ проведенной организационной работы со следователями, а также изучение материалов, представленных для производства экспертиз по делам, связанным с деятельностью ячеек АУЕ, позволяет сформировать ряд характерных особенностей,

возникающих при подготовке заключений экспертом.

Название ячеек рассматриваемой экстремистской организации в различных источниках принято называть как «Арестантский уклад един», «Арестантский удел един», «Арестантское уркаганское единство», АУЕ, А. У. Е. На формирование проблемы и роста влияния и степени общественной опасности экстремистской организации «АУЕ» было обращено внимание в беседе журналистов с начальником отдела по надзору за исполнением законов о несовершеннолетних и молодежи прокуратуры Забайкальского края Синельниковым Евгением Леонидовичем, который отметил резкий рост преступности несовершеннолетних [3].



Анализ юридической литературы не позволил определить, когда и кем был введен термин АУЕ. Достоверно только известно, что он появился недавно, как указывал Громов Д. В., «... Ни в одном из трех с половиной десятков словарей криминальных жаргонов, вышедших с 1859 по 1994 годы, ни аббревиатуры АУЕ, ни ее расшифровки нет» [1, с. 31]. В процессе своей службы и общения с сотрудниками уголовно-исполнительной системы мы можем отметить, что АУЕ нередко использовался как подача сигнала (крик, возглас) в рамках межкамерных сообщений на территории следственных изоляторов, при общении осужденных.

В качестве деятельности ячеек АУЕ принято рассматривать три вида: как отдельное сообщество, «продвигающее воровские традиции», как идеология, поддерживающая тюремные ценности, и как стилистика, романтизирующая воровскую жизнь [6, с. 175].

Экстремистское движение «А.У.Е» «Аре-стантское уркаганское единство» или «Аре-стантский уклад един» (АУЕ) [7, с. 54–56], как отмечают источники, возникло в 2010 году. Наибольшую криминальную активность зафиксировали в Забайкальском крае. Как отмечал в своей работе Громов Д. В., «...помимо неблагоприятных социально-экономических условий в Забайкалье повсюду процветает криминал, а тюремная жизнь для подростков становится заоблачной мечтой, которую они немедленно хотят претворить в жизнь. (...) За последние девять месяцев совершено 1168 подростковых преступлений. Для сравнения, в многомиллионной Москве показатель держится на уровне 700 преступлений [1, с. 34]». Наиболее резонансное звучание аббревиатуры АУЕ произошло в 2010 г. на территории Белореченской воспитательной колонии территориального органа ФСИН России Краснодарского края при возникновении массовых беспорядков [6, с. 126–129]. Сегодня в криминальном мире вовлечение несовершеннолетних, по мнению активных участников данной организации, является подготовкой «достойной смены».

На этот неоднократно указывали средства массовой информации, а в сети интернет в качестве общественной опасности акцентировалось внимание на привлечении несовершеннолетних в идеологию, связанную с организацией «Аре-стантский уклад един», а также продвижение «воровских идей» и «понятий» в противовес органам государственной власти и законодательству. Публикации, проводившие описание активного привлечения молодежи в движение «АУЕ» отмечали, что это приводит к повышению подростковой

преступности, дестабилизации общественных отношений, ущемлению права других граждан.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В силу определенной специфики функционирования ячеек АУЕ на территории пенитенциарных учреждений и муниципальных образований следователь вынужден прибегать к услугам экспертов.

Наиболее характерной причиной отказа экспертов от подготовки заключения является формальная подготовка представленных на экспертизу материалов. В связи с этим, для формирования качественного материала, необходимого для подготовки заключения, целесообразно привлекать специалиста.

Формирование процесса работы и взаимодействия (следователь – эксперт), при проведении исследования и подготовки заключения напрямую зависит от квалификации совершенного преступления, собранных материалов в качестве объекта исследования, проведения фото-видео фиксации с высоким разрешением, протоколов допроса, проведенных в строгом соответствии с требованиями УПК.

Необходимо учитывать, что материалы, предоставленные для проведения исследования, можно разделить условно на несколько групп.

Первую группу в литературе принято называть «свободные образцы», в нее входят материалы, полученные до возбуждения уголовного дела. К ним относятся прогоны, малявы, фотографии, вещи, носящие символику АУЕ (нарды, шкатулки, карты и т. д.).

Вторая группа – «условно-свободные» – это материалы, полученные в рамках возбужденного уголовного дела, но подготовленные непосредственно для исследований (например, стенограммы телефонных переговоров, протоколы дополнительных допросов, обыска и изъятия).

Третья группа – «уточняющие» – укрупнённая фотосъемка конкретных рисунков (татуировок), надписей.

В качестве примера можем отметить, что одним из элементов подготовки материалов к проведению криминологической экспертизы являются фото-таблицы конкретных изображений, подтверждающих причастность адепта к ячейке экстремистской организации АУЕ, или показывающие, что на территории муниципального образования действует данная ячейка.

Чаще всего в фото-таблицах фиксируют граффити на стенах и татуировки у членов ячейки. В первом случае, чаще всего, это

различные стили написания слова АУЕ и изображения воровских звезд, авторами данных «произведений искусства» являются подростки. Во втором – непосредственно отдельные элементы татуировок лица, позволяющие сделать вывод о статусе лица, принадлежности к определенной группировке, об отношении лица к криминальным традициям.

При описании татуировок, по нашему мнению, наиболее полно выглядит позиция Старкова О. В., который разделял наколки на следующие виды:

- иерархические, разделенные на высокостатусные и низкостатусные;
- личностно-установочные;
- сигнально-обособленные;
- воровские (тюремные);
- профессиональные;
- памятные;
- сексуально-эротические, которые условно можно разделить на умеренно-эротические и цинично-эротические;
- эстетические или художественные;
- религиозные;
- юмористические [4, с. 240].

В конце 20 века ношение воровских татуировок было строго регламентировано, то есть если человек наносил себе татуировку незаконно, то с него могли «спросить» за наличие татуировки не по статусу. В последнее время к данным элементам нательной живописи более лояльное отношение. И в практике имеются случаи, когда новичок является обладателем наколок, даже если он не отбывал наказание.

В качестве характерных ошибок, встречающихся при подготовке фототаблиц, являются технические ошибки. В процессе съемки нарушается композиция кадра, и дать описание рисунка не представляется возможным. Как отмечается в литературе: «Композиция кадра в криминалистической фотографии – это такое его построение, при котором в полной мере происходит передача криминалистически значимой информации в соответствии с применяемым приемом фотосъемки (ориентирующий, обзорный, узловой, детальный) и согласующееся с соответствующей записью в протоколе следственного действия» [8, с.93]. Следовательно, подготавливая материалы для передачи эксперту, должен, в первую очередь, учитывать, что описание символики, изображенной на некачественных фотоснимках, нечетких изображениях, может привести к ошибочным результатам.

Самым распространённым видом доказательства участия лица в деятельности ячейки экстремистской организации АУЕ является протокол допроса. Как указывается

в литературе, «...именно протокол позволяет определить относимость, допустимость, достоверность каждого из предусмотренных законом показаний, а, следовательно, решить вопрос о возможности положить их в основу обвинения и использовать при доказывании значимых для уголовного дела обстоятельств» [2].

Составление протокола должно обязательно содержать определенные вопросы, которые позволят установить наличие действующей ячейки экстремистской организации АУЕ на территории муниципального образования или пенитенциарного учреждения. Также благодаря правильно поставленным вопросам подтверждается или опровергается наличие adeптов или организаторов данной экстремистской организации. Данные вопросы можно условно разделить на несколько видов.

1. Используется ли в повседневной деятельности атрибутика или символика, сходная до степени смешения с атрибутикой или символикой организации «АУЕ», в отношении которой судом принято вступившее в законную силу решение о запрете деятельности на территории Российской Федерации в связи с осуществлением экстремистской деятельности, и если да, то какая?

2. Имеются ли, по мнению допрашиваемого, признаки деятельности в данном муниципальном районе (пенитенциарном учреждении) ячейки организации «АУЕ», в отношении которой судом принято вступившее в законную силу решение о запрете деятельности на территории Российской Федерации в связи с осуществлением экстремистской деятельности?

3. Имеются ли, по мнению допрашиваемого, сведения, подтверждающие причастность определенного гражданина, имеющего уголовное прозвище, к деятельности на территории муниципального района (пенитенциарного учреждения) ячейки организации «АУЕ», в отношении которой судом принято вступившее в законную силу решение о запрете деятельности на территории Российской Федерации в связи с осуществлением экстремистской деятельности?

4. Содержатся ли, по мнению допрашиваемого, сведения об исполнении определенным гражданином, имеющим уголовное прозвище, функций участника деятельности на территории муниципального района ячейки организации «АУЕ», в отношении которой судом принято вступившее в законную силу решение о запрете деятельности на территории Российской Федерации в связи с осуществлением экстремистской деятельности?

5. Содержатся ли, по мнению допрашиваемого, сведения об исполнении определенным гражданином, имеющем уголовное прозвище, функций организатора деятельности на территории муниципального района ячейки организации «АУЕ», в отношении которой судом принято вступившее в законную силу решение о запрете деятельности на территории Российской Федерации в связи с осуществлением экстремистской деятельности?

Отклонение от указанных вопросов не позволит использовать протокол в качестве объекта исследования при подготовке заключения по криминологической экспертизе.

Формируя критерии в результате анализа материалов, представленных для подготовки заключений по криминологическим экспертизам, необходимо отметить характерные ошибки, связанные с правильностью составления постановления о назначении судебной экспертизы.

Отдельно необходимо обратить внимание на подготовку постановления о назначении криминологической судебной экспертизы. Опыт подготовки заключений при проведении криминологических экспертиз позволяет выделить характерные ошибки, возникающие при их назначении.

1. В первую очередь, это формулировка вопросов для эксперта – вопросы должны быть четкими и понятными. Нередко вопросы дублируют друг друга или не несут смыслового значения. Поэтому представляется необходимым предварительно обговорить с экспертом формулировки вопросов, указанных в постановлении.

2. Ошибочное понимание вида экспертизы, что приводит к нежелаемым результатам. Под криминологической экспертизой необходимо понимать «урегулированное правовыми нормами и осуществляемое специально уполномоченными криминологами и другими специалистами предметно-целевое исследование социальных явлений и процессов, направленное на диагностику и выявление деструктивных явлений, процессов и норм, которые имеют или могут иметь криминогенный характер, то есть выступать в качестве социальных, правовых и личностных детерминант (факторов, причин или условий совершения преступлений» [5, с. 17].

3. Формальное изложение обстоятельств происшедшего. Обстоятельства дела очень важны для эксперта, так как он вынужден пользоваться только той информацией, которую ему предоставил следователь.

4. Формальное указание количества и объем материалов в постановлении, которые предоставляются следователем. Нередко

следователь предоставляет материалы частями, или досылает дополнительно материалы, не указанные в постановлении, что не позволяет провести экспертизу в полном объеме, а также является нарушением УПК РФ.

Неправильная оценка времени, необходимого для проведения криминологической экспертизы. Предав материалы, следователь начинает торопить эксперта, так как происходит затягивание сроков предварительного расследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В заключение необходимо отметить, что в целях профилактики и предупреждения распространения идеологии АУЕ основные мероприятия должны быть направлены на выявление активных участников и сторонников субкультуры, на проведение профилактической работы, признанной не допускать вовлечения в нее несовершеннолетних образовательных организаций. Для этого и отмечаются характерные признаки функционирования ячеек АУЕ в муниципальных органах власти. Указание характерных ошибок, допускаемых при подготовке материалов, поможет сотрудникам следственных органов и способствует выполнению быстрой и качественной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. АУЕ: криминализация молодежи и моральная паника / Д. В. Громов. – Текст: непосредственный // «НЛО». – 2022. – С. 34.
2. Баянов, А. И.. Следственные ошибки при составлении протокола допроса и их использование стороной защиты / А. И. Баянов, А. Д. Назаров, Н. А. Сидорова, Н. Г. Стойко. – Текст: непосредственный // Вестник Санкт-Петербургского университета. Право. – 2022. – № 4. – С. 927–946.
3. Забайкальская прокуратура провела брифинг по преступлениям несовершеннолетних и преступлениям в отношении них // WWW.KP.RU. – URL: <https://www.kp.ru/daily/26123.4/3015726/> (дата обращения 02.09.2023). – Текст: электронный.
4. Криминальная субкультура: Спецкурс / О.В. Старков. – М.: Волтере Клувер, 2010. – 240 с. – Текст: непосредственный.
5. Лебедев, С. Я. Традиции и обычаи в системе криминологической детерминации: автореф. ... доктора юрид. наук / С. Я. Лебедев. – М., 1995. – С. 27–28. – Текст: непосредственный.
6. Михайлов, В. С. Экстремистское движение «АУЕ»: причины возникновения, распространение и пути решения / В. С. Михайлов, Е. Н. Кравченко. – Текст: непосредственный // Вестник СЮИ. – 2020. – С. 126–129.

7. Молодежные уличные группировки: введение в проблематику / Д. В. Громов. – М.: Институт этнологии и антропологии РАН, 2009. – 340 с. – Текст: непосредственный.
8. Репин, А. В. Анализ типичных ошибок при оформлении фототаблиц к протоколам осмотров мест происшествий / А. В. Репин, Е. Б. Мельников. – Текст: непосредственный // Вестник Сибирского юридического института МВД России. – 2018. – № 4 (33). – С. 93.
9. Усанов, И. В. Феномен АУЕ / И. В. Усанов. – Текст: непосредственный // Проблемы уголовного процесса, криминалистики и судебной экспертизы. – 2018. – № 2. – С. 54–56.
10. Философский энциклопедический словарь. – М., 1983. – С. 692. – Текст: непосредственный.



ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРЕСТУПНОСТИ

Шапошников Алексей Сергеевич,
аспирант,
Югорский государственный университет
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: ShaposhnikovAS@ugra86.ru

Предмет исследования: нейронные сети как инструмент предупреждения экологической преступности.

Цель исследования: на основе анализа функциональных возможностей нейронных сетей предложить направления для их применения в деятельности, связанной с предупреждением экологической преступности.

Методы и объекты исследования: методологическая основа представлена диалектическим методом научного познания. Частнонаучные методы познания использовались при рассмотрении понятия «нейронные сети» и раскрытии функциональных возможностей данной технологии (методы формальной логики), а также при исследовании перспектив внедрения нейронных сетей в деятельность правоохранительных органов (формально-юридический метод).

Основные результаты исследования: среди функциональных возможностей нейронных сетей для целей предупреждения экологической преступности наиболее эффективными являются распознавание и классификация данных, прогнозирование событий, обнаружения аномалий в данных путем обработки космических снимков. Данный функционал позволит правоохранительным органам определять участки природной среды, наиболее подверженные преступному влиянию, что, в свою очередь, дает возможность, используя риск-ориентированный подход, предотвратить совершение экологических преступлений.

Ключевые слова: экологическая преступность, экологические преступления, предупреждение экологической преступности, нейронные сети, природная среда.

PROSPECTS OF USING NEURAL NETWORKS TO PREVENT ENVIRONMENTAL CRIME

Alexey S. Shaposhnikov
Postgraduate Student,
Yugra State University
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: ShaposhnikovAS@ugra86.ru

Subject of research: neural networks as a tool for preventing environmental crime.

Purpose of research: based on the analysis of the functional capabilities of neural networks, to propose directions for their application in activities related to the prevention of environmental crime.

Methods and objects of research: the methodological basis is presented by the dialectical method of scientific cognition. Private scientific methods of cognition were used in the consideration of the concept of «neural networks» and the disclosure of the functionality of this technology (methods of formal logic), as well as in the study of the prospects for the introduction of neural networks into the activities of law enforcement agencies (formal legal method).

Main results of research: among the functional capabilities of neural networks for the prevention of environmental crime, the most effective are data recognition and classification, event forecasting, detection of anomalies in data by processing satellite images. This functionality will allow law enforcement agencies to identify areas of the natural environment that are most susceptible to criminal influence, which, in turn, makes it possible, using a risk-based approach, to prevent the commission of environmental crimes.

Keywords: environmental crime, environmental crimes, prevention of environmental crime, neural networks, natural environment.

ВВЕДЕНИЕ

Нейронные сети стремительно вошли в информационное поле общества. Сегодня их использование уже доступно каждому для решения прикладных задач разного спектра направленности и сложности, включая: создание новых текстов, изображений или музыки; обнаружение и распознавание на изображениях и видео объектов или данных, выделяющихся из общей группы на основе их характеристик и т. д.

Учитывая возможности данной технологии, закономерными становятся вопросы о выборе приоритетных направлений для их внедрения в деятельность государственных учреждений и разработку методологии их использования. Нами предлагается рассмотреть данные вопросы через призму предупреждения экологической преступности.

Выбор именно данного вида преступности в настоящем исследовании продиктован особенностями, отличающими

экологическую преступность от прочих проявлений данного явления, которые позволяют наиболее наглядно сформулировать гипотезу о возможностях нейронных сетей и перспективности их использования в деятельности правоохранительных органов.

В первую очередь, к таковым относится территория, на которой совершаются экологические преступления. Формально такая территория не имеет конкретных границ, поскольку представляет собой экологическую систему, т. е. «любое сообщество живых существ и его среда обитания, объединенная в единое функциональное целое, возникающее на основе взаимозависимости и причинно-следственных связей» [13, с. 30]. Вместе с тем, можно обозначить наиболее типичные места совершения экологических преступлений с учетом географических особенностей конкретного региона – леса, реки, моря, континентальный шельф и прочее.



Итак, противоправные деяния совершаются в природной среде, которая, в свою очередь, занимает большую часть территории нашей страны. Например, в России земли лесного фонда занимают 65,9 % от совокупной площади земельного фонда (1 128 421,6 тыс. га) [18], а территория Ханты-Мансийского автономного округа – Югры на 91 % состоит из земель лесного фонда (48 661,1 тыс. га) [19]. При этом особенностью автономного округа, как и многих других северных регионов нашей страны, является относительно небольшая плотность населения. Как следствие этого, экологическая преступность является высоколатентной. Так, Ельчанинова О. В. и Романов А. А. утверждают, что уровень латентности экологической преступности достигает 95–99 % [6, с. 163, 13, с. 17].

Тожественного мнения придерживается и правоприменитель. В частности, судья Верховного Суда Российской Федерации Зателепин О. К., который отметил следующее: «несмотря на наблюдающуюся динамику снижения дел об экологических преступлениях, официальная оценка текущего состояния экологической безопасности России, содержащаяся в Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 19.04.2017 № 176, говорит о тенденции к ухудшению состояния земель и почв во всех регионах страны (общая площадь находящихся в обороте загрязненных земель составляет порядка 75 миллионов га); только 11 % сточных вод, сбрасываемых в водные объекты, являются очищенными до установленных нормативов допустимых сбросов. Все это свидетельствует о гиперлатентности экологических преступлений» [20].

Из указанного следует вывод о том, что правоохранительным органам при имеющихся методиках выявления и раскрытия преступлений не удастся эффективно осуществлять меры по противодействию рассматриваемого вида преступности. В связи с этим, поиск и применение новых технологий, в том числе нейронных сетей, является одним из способов преодоления проблемы.

Стоит отметить, что отдельные вопросы, касающиеся влияния искусственного интеллекта на охрану окружающей среды, исследовались Кляченковым А. А. [10], проблемы цифровизации охраны окружающей среды были рассмотрены Секретаревой К. Н. [15], о цифровых технологиях в лесном хозяйстве шла речь в исследовании Вернер Н. Н. и Рудовой М. Е. [3]; Волков В. Ю., Барков А., Репина Г. Н., Самоорова И. затронули роль интеллектуальных

систем управления в экологическом мониторинге [4]; Якимчук А. В. с применением технологии машинного обучения разработал модель оценки и прогнозирования рисков лесных рубок на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры [17].

Вместе с тем, в указанных работах не были затронуты вопросы предупреждения экологической преступности посредством использования нейронных сетей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Перед переходом к раскрытию темы настоящего раздела необходимо отметить, что изучение нейронных сетей относится к области знаний математических наук, тогда как настоящее исследование – к юридической науке. Вместе с тем, полагаем, что раскрытие общих начал изучаемой категории, основанное на специальной области знаний, в качестве отдельного элемента научной работы отвечает принципам междисциплинарного подхода проведения исследований, и в результате обеспечит достижение цели исследования.

Так, нейронная сеть представляет собой последовательность искусственных нейронов, соединенных между собой синапсами (место контакта между двумя нейронами) подобно тому, как это происходит в биологической модели мозга человека. Благодаря такой структуре, машина обретает способность анализировать и даже запоминать различную информацию. Нейронные сети также способны не только анализировать входящую информацию, но и воспроизводить ее из своей памяти [8, с. 339]. Таким образом, нейронная сеть – это машинная интерпретация мозга человека, в котором находятся миллионы нейронов, передающих информацию в виде электрических импульсов [16, с. 17].

В сущности, нейронная сеть может обучаться на большом количестве примеров, которые предоставляются ей в качестве входных данных, и постепенно улучшать свою работу в соответствии с этим опытом. Данная архитектурная особенность отличает нейронные сети от прочего программного обеспечения, которое обычно работает по заранее заданным правилам и алгоритмам, не изменяя своего поведения в зависимости от новых данных.

Особенности данной технологии определяют и широкий спектр возможностей ее применения. Так, нейронные сети могут использоваться для решения сложных задач, требующих аналитических вычислений, схожих с теми, что делает человеческий мозг.

Среди таких задач для цели настоящего исследования можно выделить следующие.

Во-первых, распознавание и классификация данных, т. е. для определения, к какой категории или классу относится определенный объект на основе его характеристик [7, с. 83].

Например, нейронная сеть может быть обучена распознавать изображения животных и определять, к какому виду они относятся, на основе признаков, таких как форма тела, цвет шерсти, форма ушей и т. д.

Для этого нейронная сеть обычно обучается на большом наборе примеров с известными классами объектов. Каждый пример представляет собой вектор признаков, который описывает характеристики объекта. Например, для изображения животного это могут быть такие признаки, как цвет, текстура, форма, размер и т. д. Каждый вектор признаков связан с определенным классом объектов, и нейронная сеть обучается находить связь между признаками и классами.

После обучения нейронная сеть может использоваться для классификации новых объектов, которые еще не были известны во время обучения. Для этого нейронная сеть получает на вход вектор признаков нового объекта и выдает на выходе вероятности принадлежности этого объекта к каждому из известных классов [2, с. 7]. Например, если нейронная сеть обучена распознавать изображения животных, то для нового изображения она может выдать вероятности принадлежности к классам «кошки», «собаки», «кролика» и т. д.

Во-вторых, прогнозирование тех или иных событий, основанное на анализе больших объемов данных и выявлении скрытых закономерностей того или иного явления.

Следует отметить, что прогнозирование возможно только тогда, когда предыдущие изменения действительно в какой-то степени предопределяют будущее [12, с. 40]. Иначе говоря, необходимо наличие причинно-следственной связи между вводными данными и предполагаемым результатом.

Для прогнозирования нейронная сеть обычно обучается на исторических данных, чтобы найти связи между входными данными и выходными значениями. Затем, когда нейронная сеть обучена, ее можно использовать для прогнозирования будущих значений.

Процесс прогнозирования с помощью нейронной сети обычно состоит из подготовки данных, обучения нейронной сети и непосредственно прогнозирования [11, с. 71].

Прогнозы, сделанные с помощью нейронных сетей, могут быть очень точными, если

обучающие данные были хорошо выбраны и представляют реальные условия.

В-третьих, нейронные сети также могут быть использованы для обнаружения аномалий в данных [5, с. 60–61]. Аномалия – это наблюдение, которое сильно отличается от остальных в наборе данных или не соответствует ожидаемому поведению той или иной системы.

Для обнаружения аномалий в данных нейронная сеть должна быть обучена на нормальных данных, чтобы она могла научиться их распознавать. После обучения она может использоваться для обнаружения любых отклонений от этого нормального поведения.

В зависимости от типа данных и задачи, нейронные сети могут использоваться для обнаружения разных видов аномалий. Например, для обнаружения аномалий в тексте нейронные сети могут использоваться для поиска необычных слов или фраз. Для обнаружения аномалий в изображениях нейронные сети могут использоваться для поиска необычных образов или цветовых паттернов.

Итак, нами определена сущность исследуемой технологии и ее возможности, которые, по нашему мнению, имеют потенциал для использования в выявлении, расследовании и предупреждении преступлений экологической направленности. Раскрытие же прочих возможностей данной технологии, (например, генерация контента или автоматический перевод текста) не отвечают цели исследования.

Экологическая преступность представляет собой негативное социально-правовое явление, состоящее из совокупности преступлений, посягающих на общественные отношения, обеспечивающие защищенность природной среды и жизненно важных интересов человека и общества, и причиняющих или создающих угрозу причинения экологического, личного (неимущественного) и (или) имущественного вреда, совершенных за конкретный период на определенной территории [8, с. 5].

Как указано ранее, именно территория, на которой совершаются экологические преступления, и предопределяет особенность данного феномена, а также сложность его выявления, раскрытия и предупреждения.

В сущности, у правоохранительных органов в настоящее время имеется возможность лишь непосредственно обнаружить событие преступления, либо получить информацию от органов, осуществляющих полномочия в сфере природоохранной деятельности, которые также имеют возможность лишь непосредственно обнаружить

правонарушение при пути следования по маршруту патрулирования.

Как было указано ранее, возможности нейронных сетей, связанные с распознаванием и классификацией данных, прогнозированием событий и обнаружением аномалий в данных, имеют потенциал для применения в борьбе с экологической преступностью.

Следует отметить результаты исследования, проведенного компанией PWC совместно с Всемирным экономическим форумом (г. Давос, Швейцария), согласно которым выделены следующие направления для применения искусственного интеллекта на благо окружающей среды:

1. Моделирование климата и погодных условий.

2. Прогнозирование влияния хозяйственной деятельности человека на загрязнение воздуха.

3. Обеспечение водной безопасности путем прогнозирования возможного загрязнения рек, а также применения правил надлежащего использования водных ресурсов.

4. Борьба за сохранения биоразнообразия. Искусственный интеллект в данной сфере поможет в моделировании, с учетом имеющегося ареала и ретроперспективных моделей распространения животных и растений, а также климатических изменений, прогнозировать будущее того или иного вида и применять все необходимые меры, направленные на сохранение его популяции еще до того, как данный вид станет критически уязвимым [21].

По мнению Кляченкова А. А., помимо системы моделирования, помощь искусственного интеллекта является практически незаменимой при осуществлении мониторинга. Благодаря спутниковому наблюдению, использованию массива данных, предоставленных метеостанциями, результатам проверок, проведенных органами санитарно-эпидемиологического надзора, существует огромный массив данных относительно возможных нарушений природоохранного законодательства в Российской Федерации [10, с. 64].

Также в отношении Ханты-Мансийского автономного округа – Югры проводилось исследование в области использования нейронных сетей для создания модели оценки и прогнозирования рисков лесных рубок [17].

В рамках данного исследования использованы ретроспективные данные органа исполнительной власти автономного округа, осуществляющего полномочия в области федерального государственного лесного контроля (надзора) и лесной охраны, а также данные, полученные в результате дешифрования

космических снимков, содержащих информацию о местах незаконных рубок лесных насаждений.

В итоге создана тепловая карта рисков возникновения лесных рубок в регионе, которая позволяет определить конкретные участки региона, наиболее подверженные противоправному воздействию.

Соответственно, применяя эти данные, компетентные органы власти имеют возможность сосредоточить свою превентивную деятельность на конкретной местности.

Таким образом, нейронная сеть может являться эффективным инструментом в предупреждении экологической преступности, предоставляя возможность обрабатывать и анализировать большие объемы данных, связанных с экологическими преступлениями, в том числе:

1) определение областей с высоким уровнем загрязнения: нейронная сеть может использоваться для анализа данных о загрязнении воздуха, воды и почвы, чтобы выявить области с высоким уровнем загрязнения, где чаще всего совершаются экологические преступления;

2) анализ данных о движении отходов: нейронная сеть может использоваться для анализа данных о движении отходов, чтобы выявить несанкционированные свалки и незаконную утилизацию отходов;

3) распознавание изображений: нейронная сеть может использоваться для распознавания изображений, связанных с экологическими преступлениями, таких как незаконная вырубка лесов, незаконная добыча полезных ископаемых и незаконная охота.

В свою очередь, получение массива необходимых данных, следуя методике исследования Якимчука А. В., возможно со стороны контрольных (надзорных) органов или самих правоохранительных органов, также из анализа космических снимков.

Учитывая возможности нейронных сетей и возможности получения необходимых данных для обеспечения их функционирования, применение данной технологии будет наиболее эффективным в отношении тех составов преступлений, сведения о которых возможно получить в том числе путем использования космических снимков. По такому признаку можно выделить 14 составов преступлений из 18, предусмотренных главой 26 Уголовного кодекса Российской Федерации (далее – УК РФ): нарушение правил охраны окружающей среды при производстве работ (ст. 246 УК РФ), нарушение правил обращения экологически опасных веществ и отходов (ст. 247 УК РФ), загрязнение вод, атмосферы и морской

среды (ст.ст. 250-252 УК РФ), нарушение законодательства Российской Федерации о континентальном шельфе и об исключительной экономической зоне Российской Федерации (ст. 253 УК РФ), порча земли (ст. 254 УК РФ), нарушение правил охраны и использования недр (ст. 255 УК РФ), незаконная добыча (вылов) водных биологических ресурсов (ст. 256 УК РФ), незаконная охота (ст. 258 УК РФ), незаконные добыча и оборот особо ценных диких животных и водных биологических ресурсов, принадлежащих к видам, занесенным в Красную книгу Российской Федерации и (или) охраняемым международными договорами Российской Федерации (ст. 258.1 УК РФ), уничтожение критических местообитаний для организмов, занесенных в Красную книгу Российской Федерации (ст. 259 УК РФ), незаконная рубка лесных насаждений (ст. 260 УК РФ), уничтожение или повреждение лесных насаждений (ст. 261 УК РФ) [1].

Таким образом, предупреждение вышеуказанных преступных деяний с помощью нейронных сетей является перспективным направлением деятельности правоохранительных органов, предлагаемым для внедрения в рамках настоящего исследования.

Несмотря на перспективы использования нейронных сетей в борьбе с экологической преступностью, по нашему мнению, имеется ряд проблем при реализации представленного подхода.

Во-первых, нейронные сети могут столкнуться с проблемой обучения на несбалансированных и недостаточных данных. Если обучающая выборка неравномерна или не содержит достаточного количества примеров для каждого преступления, то нейронные сети могут выдавать неверные или неточные результаты.

Во-вторых, возможны проблемы с объяснимостью и интерпретируемостью результатов, полученных с помощью нейронных сетей. Например, если нейронная сеть находит закономерности в данных, которые не могут быть легко объяснены, то это может вызвать недоверие со стороны правоохранительных органов и затруднить принятие решений на основе этих результатов.

В-третьих, проблемой может быть отсутствие доступа к соответствующей инфраструктуре и ресурсам, необходимым для обучения нейронных сетей, таких как высокопроизводительные вычислительные системы и квалифицированные специалисты в области машинного обучения и искусственного интеллекта.

Вместе с тем, раскрытые проблемы не отрицают факта перспективности

использования нейронных сетей для целей предупреждения экологической преступности. Согласно «Первому закону технологий» Кранцберга: «Технология не является ни хорошей, ни плохой; ни нейтральной». Технологию можно понимать как силу, которая покачивает «двойственное лицо, одновременно расширяя возможности и препятствуя». Для получения однозначных данных об эффективности или неэффективности предлагаемого подхода необходима его апробация путем внедрения нейронных сетей в практическую деятельность правоохранительного органа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОоды

Данное исследование было посвящено функциональным возможностям нейронных сетей в качестве инструмента предупреждения экологической преступности.

Была поставлена и достигнута цель исследования, которая заключалась в том, чтобы на основе анализа функциональных возможностей нейронных сетей предложить направления для их применения в деятельности, связанной с предупреждением экологической преступности.

Цель достигнута посредством анализа функциональных возможностей нейронных сетей, раскрытия особенностей экологической преступности, а также указания на направления для использования правоохранительными органами нейронных сетей в целях предупреждения экологической преступности.

Нейронная сеть представляет собой информационную систему, моделирующую функционирование нейронов в головном мозге человека, которая используется для обработки и анализа больших объемов данных. Среди функциональных возможностей нейронных сетей для целей противодействия экологической преступности имеют значение распознавание и классификация данных, прогнозирование событий, обнаружения аномалий в данных.

Особенности экологической преступности предопределяют возможности применения нейронных сетей для борьбы с ней, в том числе: определение областей с высоким уровнем загрязнения; анализ данных о движении отходов; распознавание изображений, свидетельствующих о признаках экологического преступления.

Учитывая возможности нейронных сетей и возможности получения необходимых данных для обеспечения их функционирования, применение данной технологии будет наиболее эффективным в отношении четырнадцати из восемнадцати составов экологических преступлений, предусмотренных УК РФ.

Таким образом, применение нейронных сетей в борьбе с экологической преступностью является перспективным направлением в деятельности правоохранительных органов, однако для получения точных данных об эффективности или неэффективности предлагаемого подхода необходима его апробация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уголовный кодекс Российской Федерации : федеральный закон от 13.06.1996 № 63-ФЗ. – Текст : непосредственный // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1996. – № 25. – Ст. 2954.
2. Баранова, Д. И. Методы распознавания образов / Д. И. Баранова. – Текст : непосредственный // Современные информационные технологии в образовании и научных исследованиях (СИТОНИ-2019). – 2019. – С. 4–8.
3. Вернер, Н. Н. Цифровые технологии в лесном хозяйстве / Н. Н. Вергер, М. Е. Рудов. – Текст : непосредственный // Повышение эффективности лесного комплекса: материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. – 2020. – С. 31–32.
4. Волков, В. Ю. Роль интеллектуальных систем управления в экологическом мониторинге / В. Ю. Волков и др. – Текст : непосредственный // Вестник Международной академии системных исследований. Информатика, экология, экономика. – 2011. – Т. 13. – № 1. – С. 179–184.
5. Гурина, А. О. Метод обнаружения аномалий на основе машинного обучения / А. О. Гурина и др. – Текст : непосредственный // Материалы XII мультikonференции по проблемам управления (МКПУ-2019). – 2019. – С. 60–65.
6. Ельчанинова, О. В. Основные детерминанты экологической преступности / О. В. Ельчанинова. – Текст : непосредственный // Правовая охрана окружающей среды: материалы и процессуальные аспекты: сборник статей по материалам межвузовского Круглого стола (посвящается памяти профессора И. А. Соболя). – 2016. – С. 163–166.
7. Заостровский, М. А. Классификация текста с помощью нейронных сетей / М. А. Заостровский, К. В. Санталов, О. В. Панкратьева. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы развития современной цифровой среды. – 2021. – С. 81–87.
8. Зябликова, М. В. Региональные особенности экологической преступности на Северо-Востоке России: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата юридических наук / М. В. Зябликова. – М., 2013. – 23 с. – Текст : непосредственный.
9. Качков, М. С. Создание нейронной сети для решения различных прикладных задач / М. С. Качков. – Текст : непосредственный // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2023. – № 2. – С. 339–343.
10. Кляченков, А. А. Искусственный интеллект и его влияние на охрану окружающей среды / А. А. Кляченков. – Текст : непосредственный // Актуальные исследования. – 2021. – № 2. – С. 63–66.
11. Костина, Л. Н. Нейронные сети в задачах прогнозирования временных рядов / Л. Н. Костина, Г. А. Гареева. – Текст : непосредственный // Инновационная наука. – 2015. – № 6-2. – С. 70–73.
12. Любимова, Т. В. Решение задачи прогнозирования с помощью нейронных сетей / Т. В. Любимова, А. В. Горелова. – Текст : непосредственный // Инновационная наука. – 2015. – № 4-2. – С. 39–43.
13. Околелова, А. А. Курс лекций по дисциплине «Экология» / А. А. Околелова. Текст : непосредственный // Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, – 2010. – 64 с.
14. Романов, А. А. О значении исследования латентной экологической преступности / А. А. Романов. – Текст : непосредственный // Научный портал МВД России. – 2017. – № 4 (40). – С. 16–20.
15. Секретарева, К. Н. Влияние цифровизации на экологию / К. Н. Секретарева. Текст : непосредственный // Хроноэкономика. – 2021. – №5 (33). – С. 67–72.
16. Чару, А. Нейронные сети и глубокое обучение / А. Чару. – Текст : непосредственный // Учебный курс. – Москва: Вильямс. – 2020. – 752 с.
17. Якимчук, А. В. Модель оценки и прогнозирования рисков лесных рубок на территории нефтедобывающего региона / А. В. Якимчук. – Текст : непосредственный // Информационные технологии и системы : труды Восьмой Всероссийской научной конференции с международным участием, Ханты-Мансийск, 17–21 марта 2020 года. – Ханты-Мансийск: Автономное учреждение Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий», 2020. – С. 149–152.
18. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2022 году. – URL: <https://rosreestr.gov.ru/activity/gosudarstvennoe-upravlenie-v-sfere-ispolzovaniya-i-okhrany-zemel/gosudarstvennyy-natsionalnyy-doklad-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-rossiyskoy-federatsii/> (дата обращения: 05.12.2023). – Текст: электронный.
19. Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2022 году. – URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-autonomnom-okruge-yugre/8998458/2022-god/> (дата обращения: 05.12.2023). – Текст: электронный.
20. В Верховном суде отметили снижение числа дел об экологических преступлениях. – URL: http://www.suprcourt.ru/press_center/mass_media/30585/ (дата обращения: 06.12.2023). – Текст: электронный.
21. Потенциальное применение технологий искусственного интеллекта на благо окружающей среды. – URL: <https://www.pwc.by/ru/publications/otherpublications/ai-research-wef.html> (дата обращения: 01.12.2023). – Текст: электронный.



АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К МОНИТОРИНГУ И ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ АКТИВНОЙ ЧАСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Архипова Ольга Владимировна,
Югорский государственный университет
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: arkh82@mail.ru

Ковалев Владимир Захарович,
доктор технических наук, профессор,
Югорский государственный университет
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: vz_kovalev@mail.ru

Сайфуллин Руслан Вадикович,
аспирант,
Югорский государственный университет
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: saifullinrv96@gmail.com

Предмет исследования: мониторинг и диагностика состояния активной части силовых трансформаторов.

Цель исследования: определение перспективных тенденций развития методик мониторинга и диагностики состояния активной части силовых трансформаторов.

Объект исследования: силовые трансформаторы.

Метод исследования: критический системный анализ.

Основные результаты исследования: рассматривается проблема мониторинга и диагностики состояния активной части силовых трансформаторов, включая обмотки. Отмечается значительное число (более четырех миллионов штук) распределительных трансформаторов, находящихся в эксплуатации в Российской Федерации. Анализируются причины аварийных отказов указанного класса силовых трансформаторов. Выделяется одна из основных причин отказов – витковое замыкание в обмотке трансформатора. Акцентируется внимание на проблеме мониторинга состояния активной части трансформатора и на диагностике развития витковых коротких замыканий в обмотке трансформатора. Показывается наличие нескольких групп методов мониторинга и диагностики витковых замыканий обмоток трансформатора. Показывается экономическая привлекательность мониторинга и диагностики по реакции на искусственные электромагнитные воздействия, и мониторинга и диагностики по реакции на естественные электромагнитные воздействия.

Ключевые слова: витковое короткое замыкание, активная часть трансформатора, мониторинг и диагностика состояния активной части силовых трансформаторов.

ANALYSIS OF EXISTING APPROACHES TO MONITORING AND DIAGNOSTICS OF THE ACTIVE PART OF POWER TRANSFORMERS

Olga V. Arkhipova
Yugra State University,
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: arkh82@mail.ru

Vladimir Z. Kovalev
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Yugra State University,
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: vz_kovalev@mail.ru

Ruslan V. Saifullin
Postgraduate Student,
Yugra State University,
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: saifullinrv96@gmail.com

Subject of research: monitoring and diagnostics of the condition of the active part of power transformers.

Purpose of research: identification of promising trends in the development of methods for monitoring and diagnosing the state of the active part of power transformers.

Object of research: power transformers.

Methods of research: critical system analysis.

Main results of research: the problem of monitoring and diagnosing the condition of the active part of power transformers, including windings, is considered. It is noted that a significant number (more than four million units) of distribution transformers are in operation in the Russian Federation. The causes of emergency failures of the specified class of power transformers are analyzed. One of the main causes of failures is highlighted – a winding circuit in the transformer winding. Attention is focused on the problem of monitoring the state of the active part of the transformer and on the diagnosis of the development of short circuits in the transformer winding. The presence of several groups of methods for monitoring and diagnosing winding circuits of transformer windings is shown. The economic attractiveness of monitoring and diagnostics based on the reaction to artificial electromagnetic influences, and monitoring and diagnostics based on the reaction to natural electromagnetic influences is shown.

Keywords: winding short circuit, the active part of the transformer, monitoring and diagnostics of the condition of the active part of power transformers.

ВВЕДЕНИЕ

Структура современной энергетической системы характеризуется значительными расстояниями от мест генерации электрической энергии до мест ее потребления. Задача минимизации электрических потерь при транспортировке электрической энергии и ее последующего оптимального потребления требует в нынешних условиях шесть-семь циклов трансформации транспортируемой электрической энергии. Одновременно требуются решения задачи надежности и качества

поставляемой электрической энергии при обязательном учете устойчивого роста потребления электрической энергии и соответствующей необходимости обеспечения «маневрового» фонда. Указанные выше обстоятельства приводят к формированию запаса мощности эксплуатируемых трансформаторов, особенно на низких напряжениях, сопряженных с непосредственным потребителем. Как следствие, «общая мощность всех трансформаторов, установленных в сети, превышает генераторную мощность в 6–7 раз»



[21], и в настоящее время, по ряду независимых оценок, в РФ находится в эксплуатации более четырех миллионов распределительных трансформаторов. Из них в эксплуатации наиболее распространены распределительные трансформаторы мощностью 25–630 кВА, напряжением 6–10 кВ [21].

Отметим, что «потребление электроэнергии в России в 2023 году увеличилось на 2,4 % и составило 1 121,6 млрд кВт·ч» [22].

Анализ работ, посвященных надежности трансформаторного парка наиболее распространенных серий 10/0,4 кВ, показывает, что число годовых аварийных отказов силовых трансформаторов характеризуется показателем

$$k_{ao} = (0,07 - 0,09) \cdot N_{ТЭ} \quad (1)$$

где $N_{ТЭ}$ количество трансформаторов, находящихся в эксплуатации. Статистика показывает, что основная причина выхода из строя указанного класса трансформаторов – витковые короткие замыкания, которые составляют около 55,2 % всех отказов, далее идут следствия дефектов главной изоляции, еще около 15,6 %, итого – практически более 70 % отказов [11]. Эти же причины отказов приводят и к наиболее опасным и тяжелым последствиям для собственно силового трансформатора. Как правило, это вызывается витковым коротким замыканием [33–36]. Причины появления данных видов повреждений очень многообразны [10, 12, 26, 34], отрицательные экономические последствия весьма значительны из-за возникающих нарушений технологических процессов, обеспечиваемых трансформаторами, и существенных затрат на последующий ремонт или замену самих трансформаторов. Своевременное принятие правильных решений в рамках процедур технического обслуживания и ремонта (ТОиР) по обнаружению и недопущению развития дефектов до аварийного состояния обеспечат высокий коэффициент готовности, сокращение времени простоя, снижение затрат на ремонты, продление срока службы оборудования [1, 2, 10].

Спрогнозировать развитие подобных дефектов достаточно проблематично, следовательно, выявление данных дефектов на ранней стадии их развития является актуальной задачей как российской, так и международной электроэнергетики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Глобальным трендом в данном направлении является цифровизация в электроэнергетике [4, 9, 19, 24] и построение современных технологий диагностики, прогноза

как собственно процессов, развивающихся в трансформаторах, так и процессов в электроэнергетических комплексах и системах, содержащих трансформаторы [3, 29, 32, 38, 39]. Как следствие, возникают и задачи управления [12, 23, 26] на основе цифровизации.

Отметим, что Россия первой в мировом сообществе (2021 г.) ввела в действие ГОСТ [5], формализующий само понятие «цифровой двойник изделия».

Большая значимость сохранения работоспособности трансформатора на протяжении его жизненного цикла требует выполнения целого спектра мероприятий, обеспечивающих получение достоверной информации о состоянии его компонент. Как правило, данные мероприятия классифицируются по различным признакам [3]: мониторинг по показаниям измерительной аппаратуры без отключения трансформатора и без прикосновения к элементам трансформатора; мониторинг работающего трансформатора с прикосновением к отдельным его конструктивным элементам, например, при отборе масла или вибродиагностике; обследования, выполняемые при выведенном из работы трансформаторе, например, обследование обмоток или коммутационной аппаратуры; специальные обследования трансформатора в процессе его ремонта.

Стоимость систем мониторинга и диагностики трансформаторов составляет, по данным [3], около 2,6 % от стоимости самого трансформатора, что, учитывая огромное количество трансформаторов, находящихся в эксплуатации (более 4 млн штук [21]), требует значительных финансовых затрат. Соответственно, возникает задача – выделить наиболее потенциально опасные направления проявления возможных дефектов и сосредоточиться на их мониторинге. Это позволит обеспечить достаточную надежность функционирования трансформаторов и минимизировать возможные ущербы от аварийного выхода трансформаторов из строя при существенном снижении затрат на мониторинг.

По мнению многих авторов, наибольшую опасность представляют витковые короткие замыкания, возникающие в ходе эксплуатации трансформаторов [6, 7, 8, 27, 28]. Характерные причины их образования приведены в таблице 1.

В свою очередь, методы мониторинга и диагностики витковых замыканий обмоток трансформатора можно разделить на несколько групп:

- мониторинг и диагностика по химическому изменению состава и характеристик масла;

Таблица 1. Характерные причины образования виткового замыкания в обмотках трансформатора (таблица построена по данным работы [40]).

Недостатки организации производственного процесса	Дефекты, возникшие из-за нарушений заводского регламента изготовления и не выявленные своевременно
	Дефекты, возникшие из-за нарушений регламента по эксплуатации
	Дефекты, возникшие в ходе нарушений регламента проведения ремонтных работ
Деградация изоляции	Механическая деградация из-за пусковых токов асинхронных электродвигателей
	Механическая деградация из-за вибрации обмоток
	Механическая деградация из-за ударного воздействия токов короткого замыкания
	Тепловая деградация из-за теплового воздействия токов короткого замыкания
	Тепловая деградация из-за теплового воздействия длительной перегрузки
	Тепловая деградация из-за теплового воздействия высших гармоник
	Электрическая деградация из-за воздействия высших гармоник и приложенного напряжения
	Химическая деградация из-за изменения характеристик масла
	Химическая деградация из-за загрязнения изоляции
Перенапряжения	Атмосферные перенапряжения
	Внутренние перенапряжения
	Дуговые перенапряжения

- мониторинг и диагностика по тепловым характеристикам работающего трансформатора;

- мониторинг и диагностика по вибрационным и акустическим характеристикам работающего трансформатора;

- мониторинг и диагностика по совокупности анализируемых характеристик (напримр, химических и тепловых);

- мониторинг и диагностика по реакции на искусственные электромагнитные воздействия;

- мониторинг и диагностика по реакции на естественные электромагнитные воздействия.

Наименее затратны последние два вида мониторинга и диагностики витковых коротких замыканий обмоток трансформатора. Это обусловлено: хорошо развитой теорией стационарных, квазистационарных и переходных электромагнитных процессов в трансформаторах [14-18], высокой степенью совпадения реальных электромагнитных

процессов с аналогичными процессами описываемыми их цифровыми двойниками [20, 30]; относительной легкостью масштабирования, тиражирования и адаптации к конкретной номенклатуре эксплуатируемого трансформаторного парка [13, 25]; относительной дешевизной материальных носителей реализаций методик мониторинга и диагностики (микрокомпьютеры); возможностью использования в качестве измерительной аппаратуры штатных измерительных трансформаторов и другой штатной аппаратуры и измерительных каналов [25, 31, 37].

Отмеченные обстоятельства хорошо коррелируются с работой [39], где проанализировано более 40 патентов и 60 публикаций, и отмечается, что в методах диагностики силового оборудования электростанций «наиболее часто используются измерения электрических величин», причем это относится как к анализируемому в указанной работе патентным источником, так и к научной литературе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

1. Основная причина выхода из строя рассматриваемого в статье класса трансформаторов – витковые короткие замыкания, которые составляют около 55,2 % всех отказов.

2. Наименее затратны в настоящее время системы мониторинга и диагностики витковых коротких замыканий обмоток трансформатора, базирующиеся на обработке результатов искусственных или естественных электромагнитных воздействий на токоведущие части трансформатора.

3. Развитие теории цифровых двойников необратимо ведет к росту количества систем мониторинга и диагностики базирующихся на симбиозе различных технологий: вибрационных, тепловых, химических, электромагнитных, акустических и других.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ефремова, И. А. Автоматизированный контроль и диагностика технического состояния трансформаторов на железнодорожном транспорте / И. А. Ефремова, О. Н. Козменков, И. П. Гордеев, Е. М. Плохов. – Текст: непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. – 2020. – № 3(81). – С. 21-27.
- Алюнов, А. Н. Об эффективности цифровой системы проактивной диагностики силовых трансформаторов / А. Н. Алюнов, О. С. Вяткина, А. Е. Немировский. – Текст: непосредственный // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2020. – Т. 24, № 5(154). – С. 966-976.
- Андреев, К. А. Проблемы устройств мониторинга и диагностики трансформаторов под нагрузкой / К. А. Андреев. – Текст: непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2012. – № 1. – С. 380-388.
- Бутырин, П. А. Цифровизация и аналитика в электротехнике. Цифровые двойники трансформаторов / П. А. Бутырин, М. Е. Алпатов. – Текст: непосредственный // Электричество. – 2021. – № 10. – С. 4-10.
- ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения».
- Громыко, И. Л. Диагностика межвитковых замыканий в трансформаторах с помощью приборного учета данных и искусственного интеллекта / И. Л. Громыко, В. О. Белькин. – Текст: непосредственный // Приборостроение-2022: материалы 15-й Международной научно-технической конференции, 16-18 ноября 2022 года, Минск, Республика Беларусь / редкол.: О. К. Гусев (председатель) [и др.]. – Минск : БНТУ. – 2022. – С. 18-20.
- Громыко, И. Л. Диагностика трансформатора с использованием комплексного анализа данных приборного учета при межвитковых замыканиях / И. Л. Громыко, В. Н. Галушко, В. О. Белькин. – Текст: непосредственный // Разработка и эксплуатация электротехнических комплексов и систем энергетики и наземного транспорта: Материалы IV международной научно-практической конференции в рамках Научно-образовательного форума, Омск, 10 декабря 2020 года. – Омск: Омский государственный университет путей сообщения. – 2020. – С. 69-82.
- Гуков, Д. В. Определение параметров схемы замещения силового трансформатора с учётом неравномерного насыщения магнитопровода при работе под нагрузкой / Д. В. Гуков, С. Д. Загуляев, С. М. Иванов. – Текст: непосредственный // Военный инженер. – 2022. – № 4(26). – С. 37-41.
- Дарьян, Л. А. Цифровые двойники электроэнергетического оборудования. Образы и экспертизы. Часть 2 / Л. А. Дарьян, Л. Н. Контарович. – Текст: непосредственный // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2021. – № 2(65). – С. 32-39.
- Зайнакова, И. Ф. Исследование характерных дефектов силовых масляных трансформаторов и обоснование методов диагностики / И. Ф. Зайнакова, А. С. Хисматуллин. – Текст: непосредственный // Наука. Технология. Производство. – 2016: Современные методы и средства диагностики электроэнергетического и электротехнического оборудования, средств и систем автоматики: материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 60-летию филиала УГНТУ в г. Салавате, Салават, 17–19 ноября 2016 года / Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал в г. Салавате. – Салават: Уфимский государственный нефтяной технический университет. – 2016. – С. 114-118.
- Иванова, З. Г. Стратегия обслуживания на основе результатов диагностирования состояния активной части силовых трансформаторов с учетом смещения резонансных частот в зависимости от увлажнения и наличия витковых замыканий в обмотках / З. Г. Иванова, Л. М. Рыбаков. – Текст: непосредственный // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 103. – С. 545-566.
- Инаходова, Л. М. Фрактальная математическая модель срока эксплуатации силовых трансформаторов распределительных электрических сетей 6-10 КВ / Л. М. Инаходова, А. Л. Фролов. – Текст: непосредственный // Российская Арктика. – 2023. – Т. 5, № 4(23). – С. 45-56.
- Исмагилов, Ф. Р. Метод определения наличия короткозамкнутого витка в обмотках трансформатора / Ф. Р. Исмагилов, И. Ф. Янгиров, Д. В. Максудов. – Текст: непосредственный // Дефектоскопия. – 2014. – № 10. – С. 34-39.
- Исаев, Ю. Н. Расчет частотной зависимости элементов схемы замещения обмоток силового трансформатора при его диагностике коротким импульсом / Ю. Н. Исаев, О. В. Васильева. – Текст: непосредственный // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2014. – № 1. – С. 60-66.

15. Исаев, Ю. Н. Метод диагностики обмоток трансформатора на наличие дефектов в виде короткозамкнутых витков / Ю. Н. Исаев, Г. А. Елгина. – Текст: непосредственный // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 28.
16. Исаев, Ю. Н. Математическая модель трансформатора при его диагностике коротким импульсом / Ю. Н. Исаев, В. А. Колчанова, Г. А. Елгина, А. В. Лавринович. – Текст: непосредственный // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 6.
17. Исаев, Ю. Н. Расчет параметров распределенной схемы замещения обмоток трансформатора с учетом влияния скин-эффекта / Ю. Н. Исаев, Е. В. Старцева. – Текст: непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т. 326, № 9. – С. 47-55.
18. Климова, Т. Г. Оценка параметров схемы замещения двухобмоточного трансформатора на базе синхронизированных векторных измерений / Т. Г. Климова, В. С. Смирнов. – Текст: непосредственный // Интеллектуальная электротехника. – 2023. – № 1(21). – С. 102-117.
19. Колесников, И. Е. Единая модель цифровой диагностики состояния силового трансформатора / И. Е. Колесников, А. В. Коржов, К. Е. Горшков. – Текст: непосредственный // Приборы. – 2021. – № 3(249). – С. 51-56.
20. Колчанова, В. А. Моделирование трансформаторной обмотки при воздействии импульса напряжения в среде MATLAB Simulink / В. А. Колчанова, Ю. Н. Исаев, Г. А. Елгина. – Текст: непосредственный // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 21.
21. Костинский, С. С. Обзор состояния отрасли трансформаторного производства и тенденций развития конструкции силовых трансформаторов / С. С. Костинский. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 1-2. – С. 14-32.
22. Краткий отчет о функционировании ЕЭС России в 2023 году. – URL: https://www.sops.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2024/ups_rep2023.pdf (дата обращения 08.02.2024). – Текст: электронный.
23. Левин, В. М. Дистанционный мониторинг и управление состоянием трансформаторов в распределительных электрических сетях / В. М. Левин, П. А. Петушков, М. А. Швец. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2023. – Т. 25, № 2. – С. 97-109.
24. Левин, В. М. Цифровые модели предиктивной аналитики для удаленного мониторинга трансформаторного оборудования / В. М. Левин, А. А. Яхья. – Текст: непосредственный // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Материалы 93-его заседания семинара. В 2-х книгах, Волжский, 13–17 сентября 2021 года / Отв. редактор Н. И. Воропай. Том Выпуск 72. Книга 1. – 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук. – 2021. – С. 393-402.
25. Литвинов, И. И. Исследование возможности применения амплитудно-фазного анализа трансформатора для диагностики / И. И. Литвинов, О. В. Танфильев, И. Н. Бузмаков. – Текст: непосредственный // Ползуновский альманах. – 2020. – № 1. – С. 134-137.
26. Семенова, К. В. Моделирование аварийных режимов трансформаторных подстанций на основе технологии цифровых двойников для предотвращения техногенных аварий / К. В. Семенова, А. И. Тихонов, И. С. Снитко [и др.]. – Текст: непосредственный // Современные проблемы гражданской защиты. – 2022. – Т. 42, № 1. – С. 83-92.
27. Мустафин, Р. Г. Дифференциальный способ обнаружения витковых замыканий в трехфазном трансформаторе / Р. Г. Мустафин, Р. Ф. Ярыш. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22, № 3. – С. 78-89.
28. Мустафин, Р. Г. Обнаружения витковых замыканий обмоток трансформаторов по параметрам переходного процесса / Р. Г. Мустафин. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2019. – Т. 21, № 3. – С. 14-23.
29. Оганян, Р. Г. Исследование метода мониторинга и прогнозирования параметров мультифизических процессов электротехнических устройств (на примере силового трансформатора) / Р. Г. Оганян, Н. И. Горбатенко, М. В. Ланкин. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2021. – № 2(210). – С. 34-40.
30. Пехота, А. Н. Технология использования сверточных нейронных сетей при диагностике состояния трансформаторов / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко. – Текст: непосредственный // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. – 2021. – № 12. – С. 63-69.
31. Поляков, В. С. Онлайн диагностика активной части силовых трансформаторов / В. С. Поляков. – Текст: непосредственный // Материаловедение. Энергетика. – 2021. – Т. 27, № 3. – С. 63-76.
32. Тихонов, А. И. Разработка технологии создания цифровых двойников силовых трансформаторов на основе цепных моделей и 2D-моделей магнитного поля / А. И. Тихонов, А. В. Стулов, И. В. Еремин [и др.] // Южно-Сибирский научный вестник. – 2020. – № 1(29). – С. 76-82.
33. Ровкина, Н. Г. Система непрерывного контроля параметров обмоток силовых трансформаторов на основе имитации динамических режимов работы / Н. Г. Ровкина, В. З. Ковалев, А. А. Зябкин. – Текст: непосредственный // Омский научный вестник. – 2011. – № 3(103). – С. 191-193.
34. Ровкина, Н. В. Исследование причин возникновения дефектов силовых трансформаторов, питающих установки погружных электроцентробежных насосов нефтяных скважин / Н. В. Ровкина, В. В. Сушков,

- А. А. Зябкин. – Текст: непосредственный // Омский научный вестник. – 2012. – № 3(113). – С. 231-235.
35. Русов, В. А. Оперативная оценка технического состояния и диагностика дефектов силовых трансформаторов в условиях эксплуатации / В. А. Русов. – Текст: непосредственный // Энергоэксперт. – 2023. – № 1(85). – С. 38-42.
36. Рыбаков, Л. М. Комплексная оценка состояния силовых трансформаторов в процессе их эксплуатации / Л. М. Рыбаков, С. В. Ласточкин, А. И. Соловьев, А. В. Шабалин. – Текст: непосредственный // Архивариус. – 2019. – № 10(43). – С. 23-27.
37. Фролов, А. Л. Опытная модель схемы диагностирования силовых трансформаторов с использованием согласующих трансформаторов / А. Л. Фролов. – Текст: непосредственный // Энергия единой сети. – 2022. – № 3-4. – С. 58-63.
38. Хальясмаа, А. И. Применение технологии цифрового двойника для анализа и прогнозирования состояния трансформаторного оборудования / А. И. Хальясмаа, И. С. Ревенков, А. В. Сидорова. – Текст: непосредственный // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 3(55). – С. 99-113.
39. Хлебцов, А. П. Развитие методов и устройств диагностики силового электрооборудования трансформаторных подстанций / А. П. Хлебцов, Л. Х. Зайнутдинова, А. Н. Шилин. – Текст: непосредственный // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2020. – Т. 16, № 3. – С. 14-27.
40. Козубай, И. Разработка технических средств и метода диагностики повреждения обмоток силового масляного трансформатора 10/0,4 кВ / И. Козубай, У. А. Калматов, Т. С. Борукеев, О. С. Суйумбаев. – Текст: непосредственный // Журнал «Вестник КРСУ». – 2023. – Т. 23, № 4. – С. 21-28.



ВНЕДРЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Бубенчиков Антон Анатольевич,

кандидат технических наук, доцент,
Омский государственный технический университет
Омск, Россия
E-mail: privetomsk@mail.ru
SPIN-код: 4357-5273
ORCID: 0000-0002-2923-1123

Горюнов Владимир Николаевич,

доктор технических наук, профессор,
Омский государственный технический университет
Омск, Россия
E-mail: vladimirgoryunov2016@yandex.ru
SPIN-код: 2765-2945

Дорогов Борис Борисович,

аспирант,
Омский государственный технический университет
Омск, Россия
E-mail: boris.dorogov.75@mail.ru
SPIN-код: 8291-5213

Предмет исследования: оптимальное размещение и режимы работы солнечных электростанций с учетом сокращения выбросов углекислого газа.

Цель исследования: определить влияние различных ориентаций фотоэлектрических электростанций на показатели выброса углекислого газа.

Объект исследования: фотоэлектрические станции

Методы исследования: комбинация моделей анализа охвата данных и процесса аналитической иерархии.

Результаты исследования: показано, что вертикальные фотоэлектрические системы позволяют снизить емкость хранилища или снизить коэффициент использования газовых электростанций. Без каких-либо вариантов хранения возможно сокращение общих выбросов углекислого газа до 10,2 млн тонн в год.

Ключевые слова: солнечная энергия; электрические сети; энергосистема; фотоэлектрические системы; интеграция.

THE INTRODUCTION OF VERTICAL SOLAR POWER PLANTS INTO THE ENERGY SYSTEM OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

Anton A. Bubenchikov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Omsk State Technical University,
Omsk, Russia
E-mail: privetomsk@mail.ru
SPIN code: 4357-5273
ORCID: 0000-0002-2923-1123

Vladimir N. Goryunov

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Omsk State Technical University,
Omsk, Russia
E-mail: vladimirgoryunov2016@yandex.ru
SPIN code: 2765-2945

Boris B. Dorogov

Postgraduate Student,
Omsk State Technical University
Omsk, Russia
E-mail: boris.dorogov.75@mail.ru
SPIN code: 8291-5213

Subject of research: optimal placement and operating modes of solar power plants, taking into account the reduction of carbon dioxide emissions.

Purpose of research: determine the influence of different orientations of photovoltaic power plants on carbon dioxide emissions

Object of research: photovoltaic plants

Methods of research: a combination of data coverage analysis models and an analytical hierarchy process

Main results of research: It is shown that vertical photovoltaic systems can reduce storage capacity or reduce the utilization rate of gas-fired power plants. Without any storage options, it is possible to reduce total carbon dioxide emissions to 10.2 million tons per year.

Keywords: solar energy; electric networks; power system; photovoltaic systems; integration.

ВВЕДЕНИЕ

Выбросы парниковых газов происходят главным образом в результате использования энергии. Очевидно, что энергия ветра и солнца – в изобилии и доступна повсеместно. Кроме того, за последние годы резко упали затраты на возобновляемую электроэнергию от ветряных и фотоэлектрических электростанций, и сегодня возобновляемая электроэнергия обходится дешевле, чем энергия, основанная на ископаемом топливе. К сожалению, энергия ветра и солнца доступна не всегда. Солнечная энергия используется для производства электроэнергии с четкими циклами день – ночь и лето – зима. Энергетические системы будущего требуют большого количества дешевой ветровой и фотоэлектрической электроэнергии в сочетании с гибкостью

линий электропередачи, управлением спросом, накоплением энергии и объединением энергетических секторов.

В областях с большой плотностью населения наличие площадей для фотоэлектрических электростанций является решающим вопросом. Часто обсуждается, следует ли выделять территорию для производства продуктов питания или электроэнергии. Также из-за быстрого сокращения биологических видов, нужно больше пространства для продвижения биоразнообразия.

В настоящее время разработаны две концепции:

1. Фотоэлектрические модули монтируются так высоко, что сельскохозяйственная обработка может производиться под модулями.
2. Сельскохозяйственная обработка производится между рядами модулей. Частным



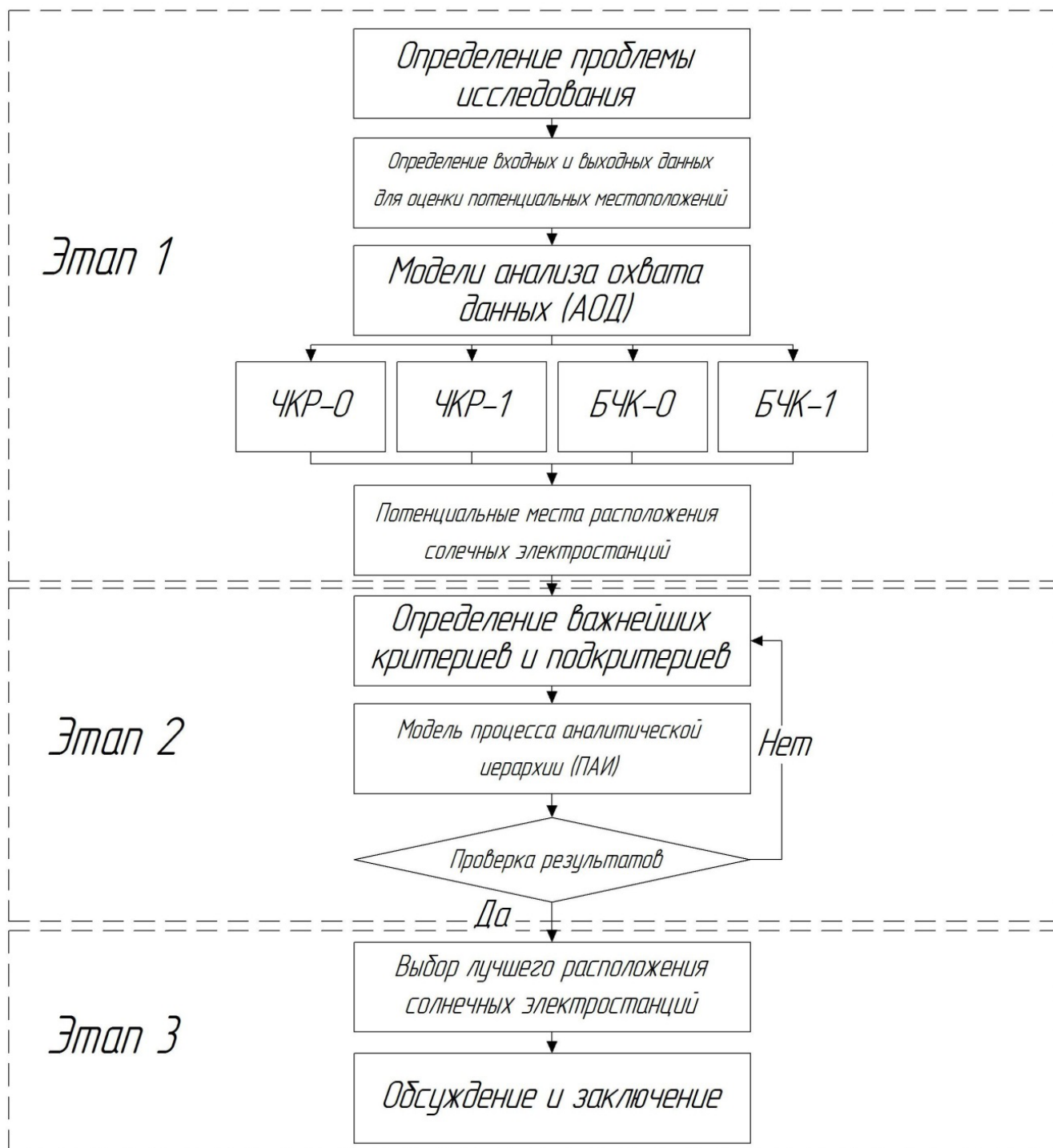


Рисунок 1. Схема принятия решения [2].

случае этой концепции является установка бифациальных модулей вертикально, что сводит к минимуму потерю площади.

Чтобы различать солнечную и энергетическую систему, в данной статье все системы, независимо от их размера, будут называться солнечными электростанциями.

Типичный пик выработки солнечной электроэнергии на электростанциях с наклоном примерно на $20\text{--}35^\circ$ к югу (для северного полушария) смещен с полудня на утренние

и послеполуденные часы. Теоретический потенциал энергии высок из-за доступности сельскохозяйственных земель – до $1700\text{ ТВт}\cdot\text{ч/год}$.

Общая выработка электроэнергии установки (в $\text{кВт}\cdot\text{ч}$), использующей вертикально установленные двухфазные модули, может быть немного выше, чем при использовании оптимальных наклонных систем, будет ли она немного выше или в конечном итоге ниже, зависит от двухфазности используемых

Таблица 1. Матрица попарного сравнения между критериями [2].

Критерии	K1	K2	K3	K4	K5	Вес
K1	0,053	0,029	0,041	0,076	0,034	0,047
K2	0,158	0,088	0,068	0,107	0,051	0,094
K3	0,263	0,265	0,205	0,178	0,305	0,243
K4	0,368	0,441	0,616	0,533	0,508	0,494
K5	0,158	0,176	0,068	0,107	0,102	0,122
Сумма	1	1	1	1	1	1

модулей, широты установки, рассеянной доли инсоляции и альбедо грунта.

При моделировании энергетических систем часто рассматриваются только оптимальные наклонные системы и системы слежения, поскольку вертикальная система является относительно новой на рынке. Установки, использующие вертикальные двухфазные модули, не всегда могут быть ориентированы с востока на запад из-за ограничений, таких как топография или геометрия соответствующего участка земли. Чтобы учесть влияние различных ориентаций, в расчеты солнечной отдачи также включаются вертикальные бифациальные системы, ориентированные с севера на юг.

Чтобы сделать эффект выравнивания модулей видимым, базовые параметры модели энергетической системы поддерживаются постоянными. Систематически изменяется только доля установленной мощности различных вариантов фотоэлектрических систем и рассматриваются два сценария, в которых интегрировано или отсутствует крупномасштабное хранилище электроэнергии. Аналогичным образом не рассматриваются средства отслеживания. При сочетании различных распределений выработки фотоэлектрической энергии сравниваются результирующие выбросы CO_2 , а также потребление природного газа электростанциями с газовым пиком. Следовательно, в данной статье исследуется влияние изменения выработки солнечной энергии на энергетическую систему, чтобы оценить степень, в которой фотоэлектрические электростанции, использующие вертикально установленные двухфазные модули, могут внести свой вклад в будущую энергетическую систему.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Принятие решения о выборе площадки для солнечной электростанции

К концу 2020 года, на фоне сбоев в цепочке поставок и задержек в строительстве, вызванных кризисом Covid-19, производство электроэнергии из возобновляемых источников выросло на 5 %, главным образом, благодаря реализации новых проектов в области ветровой и солнечной энергетики, и потому, что возобновляемые источники энергии, как правило, используются раньше других источников энергии [14].

Разработана структура с комбинацией моделей анализа охвата данных (АОД) и процесса аналитической иерархии (ПАИ) для определения наиболее подходящих площадок. Для этой цели были использованы две базовые модели, Чарнса-Купера-Рудса (ЧКР) и Банкера-Чарнса-Купера (БЧК), а также модель оценки эффективности в АОД. По результатам АОД, местоположения с идеальными показателями эффективности затем были ранжированы. На рис. 1 подробно описана процедура исследования. Для описания необходимо на первом этапе использовать модели АОД, чтобы сузить список местоположений путем измерения их эффективности.

Путем применения методологии АОД получены веса факторов (т. е. критериев и подкритериев) и альтернатив (местоположений), которые влияют на процесс принятия решений для фотоэлектрических объектов (табл. 1). Веса факторов: критерий 1 (K1) – характеристика местоположения, критерий 2 (K2) – технические параметры, критерий 3 (K3) – экономические факторы, критерий 4 (K4) – социальные факторы, критерий 5 (K5) – характеристики окружающей среды.

Следующая процедура представляет пример определения веса (весов собственного вектора) основных критериев (K1, K2, K3, K4 и K5) и расчета коэффициента согласованности. Аналогичные процедуры для подкритериев и альтернатив применяются для получения их весовых коэффициентов.

Вычисляется наибольший собственный вектор ($\lambda_{\max}$) для определения индекса согласованности (CI), случайного индекса (RI) и коэффициента согласованности (CR) следующим образом:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 & 1/7 & 1/3 \\ 3 & 1 & 1/3 & 1/5 & 1/2 \\ 5 & 3 & 1 & 1/3 & 3 \\ 7 & 5 & 3 & 1 & 5 \\ 3 & 2 & 1/3 & 1/5 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,047 \\ 0,094 \\ 0,243 \\ 0,494 \\ 0,122 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,238 \\ 0,475 \\ 1,291 \\ 2,633 \\ 0,631 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,238 \\ 0,475 \\ 1,291 \\ 2,633 \\ 0,631 \end{bmatrix} / \begin{bmatrix} 0,047 \\ 0,094 \\ 0,243 \\ 0,494 \\ 0,122 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5,103 \\ 5,033 \\ 5,037 \\ 5,335 \\ 5,160 \end{bmatrix}$$

Здесь рассматриваются пять основных критериев. Мы получаем $n = 5$. Следовательно, $\lambda_{\max}$ и CI вычисляются следующим образом:

$$\lambda_{\max} = \frac{5,103 + 5,033 + 5,037 + 5,335 + 5,160}{5} = 5,188$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5,188 - 5}{5 - 1} = 0,047$$

Для $n = 5$ мы получаем $RI = 1,12$, а коэффициент согласованности (CR) рассчитывается следующим образом:

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,047}{1,12} = 0,042$$

Из результата следует, что $CR = 0,042 < 0,1$, следовательно, матрица попарного сравнения согласована, и результаты являются удовлетворительными.

Входные параметры скорости ветра и осадков снижают эффективность фотоэлектрической системы. Фактически ветер также обладает охлаждающим эффектом, который повышает эффективность фотоэлектрических модулей, где снижение температуры солнечного модуля на 1 °C может привести к повышению эффективности на 0,5 %.

Температуры Европейской части России значительно отличаются, разнообразная

география и климат приводят к различным условиям для использования солнечной энергией, которые варьируются в зависимости от местоположения [1].

Что касается результатов взвешивания критериев, социальный (K4) имеет наибольший приоритет (0,494) среди остальных. Высота над уровнем моря, расстояние от солнечной электростанции, стоимость передачи электроэнергии, вспомогательные механизмы и топография являются наиболее значимыми подкритериями в их наборе. Согласно обобщенному рейтингу, «механизмы поддержки», «стоимость передачи электроэнергии» и «спрос на потребление электроэнергии» с весами 0,332, 0,122 и 0,086 соответственно, признаны наиболее значимыми подкритериями.

После определения наиболее предпочтительного варианта рельефа для каждого подкритерия производится сравнение всех наиболее предпочтительных вариантов рельефа, чтобы определить окончательный рейтинг вариантов.

В результате анализа будет получен окончательный рейтинг вариантов рельефа, который будет указывать на наиболее предпочтительный вариант для установки солнечной электростанции [17].

Распределение выхода солнечной энергии

В качестве типа установки используется фиксированная высота, а в качестве типа модуля – кристаллический кремний. Во всех случаях средняя выработка энергии рассчитывается в четырех различных точках Европейской части России (Архангельск – Север, Пермь – Восток, Краснодар – Юг, Калининград – Запад). Эти профили объединяются в один результирующий профиль для каждого варианта рельефа путем усреднения профилей каждого местоположения [3].

Сокращения:

- о-Ю – обращенный на Юг;
- о-С – обращенный на Север;
- о-В – обращенный на Восток;
- о-З – обращенный на Запад;
- СУТ – стандартные условия тестирования;
- ФЭГИС – Фотоэлектрическая Географическая Информационная Система;

Распределение выхода энергии для наклонных солнечных электростанций, обращенных на юг (о-Ю), было рассчитано при угле наклона модуля 20 °, поскольку такое условие часто используется для фотоэлектрических установок, которые оптимизированы по финансовым параметрам, т. е. инвестиционным затратам и затратам на площадь. Годовая

Таблица 2. Уклон и азимут солнечных электростанций в ФЭГИС.

Параметр	о-Ю	о-ВЗ	о-СЮ	Комбинация 25/50/25
Уклон	20°	90°	90°	смешанный
Азимут	0°	-90° и 90°	0° и 180°	смешанный
Годовая выработка	1020 кВт·ч	999 кВт·ч	926 кВт·ч	986 кВт·ч

выработка энергии для электростанции о-Ю составляет 1020 кВт·ч. Для вертикальных бифациальных солнечных электростанций рассчитывается выход энергии для двух солнечных модулей, обращенных на восток и запад (о-ВЗ) или север и юг (о-СЮ), и почасовая сумма обоих используется во всех последующих расчетах. Бифациальность принимается равной 90 %, т. е. мощность задней панели модулей составляет 90 % от мощности передней панели в стандартных условиях тестирования (СУТ). В случае электростанции о-ВЗ мощность распределяется как на восток, так и на запад, т. е. 95 % мощности системы СУТ доступно с обеих сторон. Годовой выход энергии составляет 999 кВт·ч.

Выработка энергии от реальных вертикальных электростанций может быть немного выше, чем рассчитано по ФЭГИС (Фотоэлектрическая географическая информационная система). Альbedo с поверхности земли может быть плохо интегрировано в алгоритм моделирования ФЭГИС, что приводит к более низким значениям по сравнению с измеренными данными. Для дальнейших расчетов мы используем данные ФЭГИС, поэтому эффект может быть недооценен. Для о-СЮ задняя сторона модуля всегда обращена на север. В табл. 2 перечислены различные варианты солнечных электростанций, их характеристики расположения и годовая производительность. В дополнение к единственному анализу профилей выработки электроэнергии для всех типов фотоэлектрических систем в качестве примера для иллюстрации взаимосвязи распределений определен комбинированный профиль с долями 25 % о-Ю, 50 % о-ВЗ и 25 % о-СЮ [11].

Моделирование энергетической системы

Необходимо сократить выбросы парниковых газов к 2030 году минимум на 80 % по сравнению с 1990 годом (рис. 2). Это соответствует значению ниже 250 млн т CO₂/год к 2030 году в качестве целевого показателя на пути к климатической нейтральности. Следует отметить,

что при достижении поставленной цели не учитывается экспорт или импорт электроэнергии, чтобы рассмотреть максимально безопасный сценарий.

Электрические и водородные приводы заменяют около 70 % ископаемого топлива. Следовательно, крупномасштабное экологически нейтральное производство водорода с помощью электролиза играет важную роль в сокращении выбросов CO₂ и гарантии надежности поставок. Водород является важным энергоносителем для работы гибких газовых электростанций, которые компенсируют потери электроэнергии благодаря энергетической системе, основанной на переменных возобновляемых источниках энергии. Выброс парниковых газов измеряется в CO₂-эквивалентах, на рис. 2 представлено количество выбросов за 10 лет при разных условиях защиты климата.

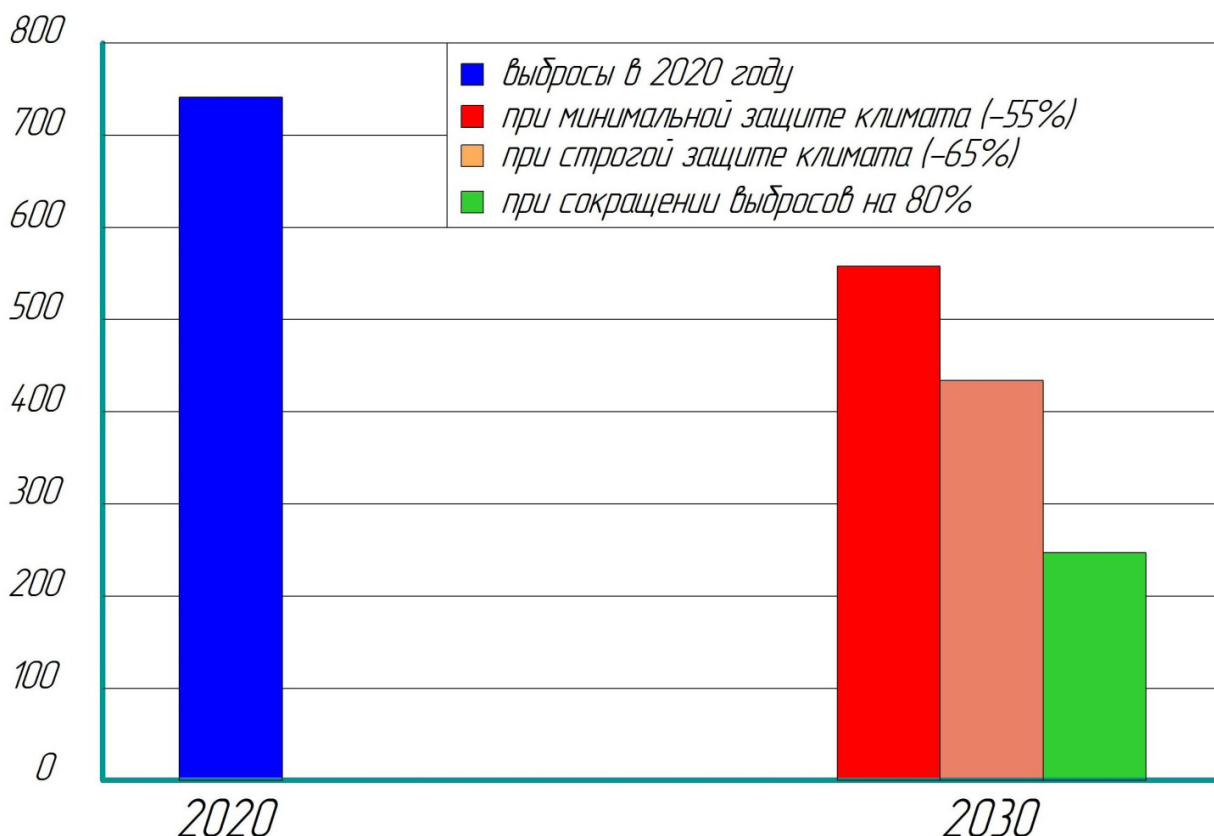
Для обеспечения высокой гибкости системы (в случае интеграции) в краткосрочной перспективе используется электрический накопитель мощностью 1 ТВт и емкостью 1 ТВт·ч.

В предлагаемой модели спрос на электроэнергию к 2030 году увеличится до 1214 ТВт·ч/год и будет зависеть, главным образом, от допущений по энергосбережению и переходу на другое топливо. Наибольшие неопределенности связаны с теплоснабжением зданий и промышленности.

Выбросы CO₂ снижаются до желаемого уровня в 227 млн тонн в год, если в модель интегрированы накопители электроэнергии и фотоэлектрические системы, на 100 % ориентированные на юг.

Выход солнечной энергии с различной ориентацией модуля позволяет снизить зависимость от солнечной активности и повысить устойчивость системы энергоснабжения.

При переходе на другое топливо возможно использование различных источников энергии, таких как ветроэнергетика, гидроэнергетика, биомасса и т. д. Вариация использования этих источников также может влиять на количество электроэнергии, производимой системой [4].

Выброс парниковых газов (в CO₂-эквивалентах)**Рисунок 2.** Выбросы парникового газа по годам в CO₂-эквиваленте [6].**Выход солнечной энергии
с различной ориентацией модуля**

При сравнении отдачи энергии с различной ориентацией модулей становятся очевидными различия во временном распределении мощности. На рис. 3 в качестве примера показан солнечный летний день.

Производство электроэнергии с использованием фотоэлектрических установок с наклоном на юг (о-Ю) и вертикальных фотоэлектрических установок с направлением восток – запад (о-ВЗ) могут дополнять друг друга. Вертикальные электростанции с направлением север – юг (о-СЮ) в целом обеспечивают более низкую производительность. Комбинированная система, состоящая из 25 % о-Ю, 50 % о-ВЗ и 25 % о-СЮ, показывает хорошо сбалансированную генерацию с 7 утра до 16 вечера.

Солнечные электростанции, обращенные к Северу и Югу (синие), вырабатывают в целом на 27 % меньше электроэнергии в солнечный летний день по сравнению с электростанциями о-Ю (табл. 2). Два пика в 0,18 Вт приходятся на 5 часов утра и 6 часов вечера из-за влияния стороны солнечного модуля, обращенной на север. Кроме того, очевиден общий меньший пик в полдень – 0,59 Вт. Если упомянутые выше

ориентации модулей объединить с точки зрения выработки электроэнергии, то в результате получится профиль, сочетающий в себе преимущества и недостатки электростанций. Разделение мощности на 25 % о-Ю, 50 % о-ВЗ и 25 % о-СЮ солнечных электростанций (серый пунктир) приводит к устойчивой и более широкой кривой выработки электроэнергии в течение дня, в которой, в частности, доминируют электростанции о-ВЗ. Высокий полуденный пик нивелируется снижением выработки электроэнергии электростанциями ВНС [6].

Таким образом, вертикальный монтаж бифациальных солнечных модулей в направлении восток – запад в качестве дополнения к электростанциям, ориентированным на юг, может обеспечить дополнительную ценность для стабилизации электросети. Это дополнительное значение обусловлено, в частности, дополнительными схемами выработки электроэнергии для балансировки в дневное время, поскольку обычный полуденный пик на южных установках смещен в сторону утренних и вечерних часов. В этой образцовой модели на 2030 год (сокращение выбросов CO₂ на 80% по сравнению с 1990 годом) можно сэкономить 10,2 млн тонн CO₂/год без накопления

Мощность в Вт

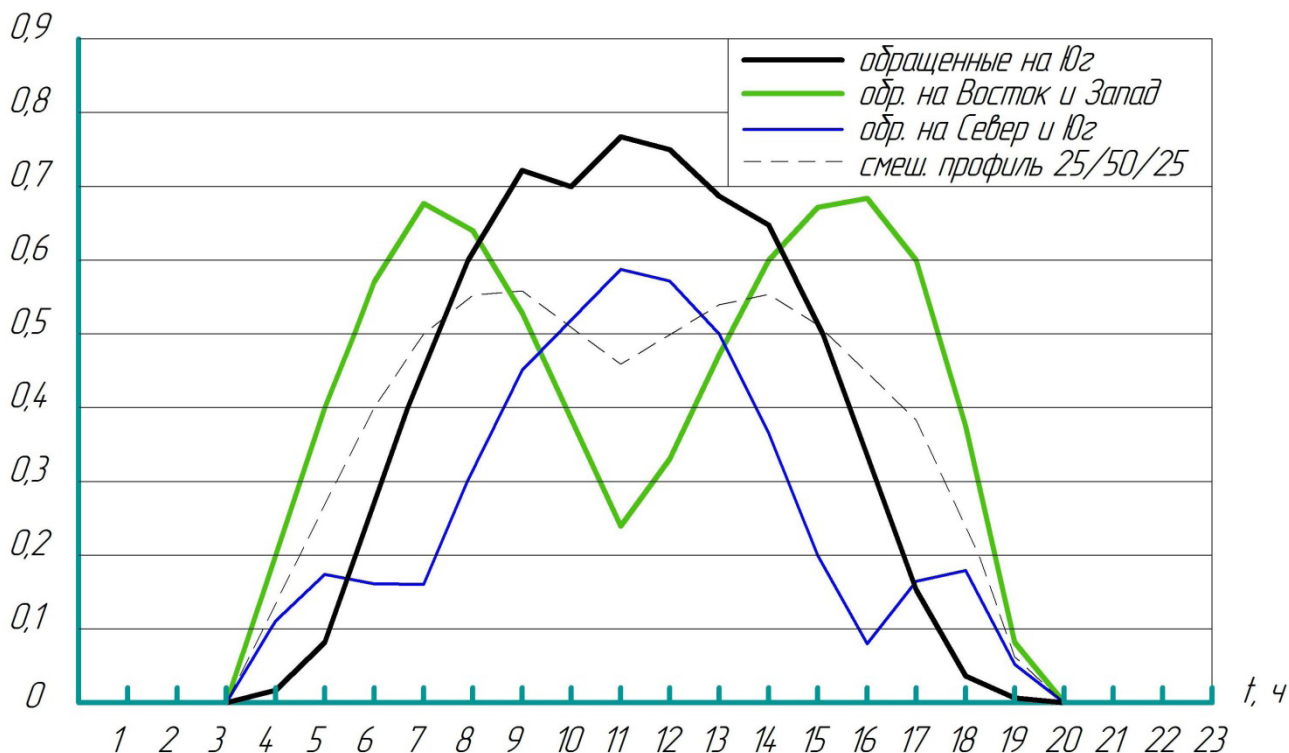


Рисунок 3. Производство фотоэлектрической электроэнергии солнечным летним днем с различной ориентацией [6].

Таблица 3. Пример выработки энергии электростанциями различной ориентации в солнечный летний и зимний день.

Направление	Производительность в летний день, Вт	Производительность в зимний день, Вт
о-Ю	6.3	2.2
о-ВЗ	7.5	1.7
о-СЮ	4.6	4.0
смеш. 25/50/25	6.6	2.4

электроэнергии, ориентируя 80 % установленной фотоэлектрической мощности (эквивалентно 280 ГВт) вертикально с востока на запад.

Причинами сокращения выбросов являются изменение в распределении солнечной энергии, более эффективное использование накопителей электроэнергии и, как следствие, снижение спроса на выработку электроэнергии на гибких электростанциях, работающих на ископаемом газе. Меньшая экономия за счет крупномасштабной интеграции аккумуляторных батарей является результатом того факта, что приходится сокращать потребление электроэнергии на юге. Стабилизирующий эффект вертикальной выработки электроэнергии, ориентированной с востока на запад, тем не менее, замечен, хотя и в меньшей степени [18].

Вертикальная ориентация фотоэлектрических модулей может применяться на двухсторонних электростанциях открытого типа, а также на фасадах зданий или вдоль транспортной инфраструктуры. Следовательно, концепция вертикальных фотоэлектрических систем значительно увеличивает пространство, доступное для применения солнечной энергии, и в то же время обеспечивает подход к адаптации производства энергии к спросу на энергию.

Оптимизация энергосбережения также имеет важное значение. Реализация энергоэффективных технологий, улучшение энергетической эффективности зданий и промышленных процессов могут значительно снизить потребление электроэнергии [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В этой статье предлагается комбинированный подход АОД и ПАИ для оценки солнечных ресурсов с учетом различных качественных и количественных факторов. Для демонстрации эффективности модели используется тематическое исследование солнечной энергетики Европейской части России. Результаты этого исследования могут стать важным материалом для заинтересованных сторон в области возобновляемых источников энергии для ускорения их развития в свете быстрого технического прогресса, национальных обязательств по охране окружающей среды и целей устойчивого развития. Поскольку инструменты, использованные в исследовании, могут быть применены в любой точке мира, это исследование может стать полезным руководством для других исследователей, правительств или частных инвесторов.

В будущих исследованиях стоит рассмотреть системы возобновляемой энергетики, такие как солнечная фотоэлектрическая энергия ветра и солнечная биомасса, для получения более рентабельных и технически осуществимых проектов по использованию возобновляемых источников энергии. Соответственно, оценка возможностей в производстве такого количества видов возобновляемых источников энергии практически обязательна, и может внести значительный вклад в развитие возобновляемой энергетики. Всестороннее исследование может быть проведено путем включения других критериев оценки, таких как цена земли, уклон местности, облачность и другие факторы, которые могут повлиять на выбор площадки для солнечных фотоэлектрических установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Avramenko, A. A. Exploring relationship between oil prices and renewable energy investments / A. A. Avramenko, A. A. Mujumdar // *Market Economy Problems*. – 2020. – No. 1. – P. 116–125.
2. C. –N. Wang, N. –A. –T. Nguyen, T. –T. Dang and J. Bayer, «A Two–Stage Multiple Criteria Decision Making for Site Selection of Solar Photovoltaic (PV) Power Plant: A Case Study in Taiwan», in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 75509–75525, 2021
3. C.–C. Kung and B. A. McCarl, «The potential role of renewable electricity generation in Taiwan», *Energy Policy*, vol. 138, Mar. 2020.
4. Dmitrii Bogdanov, Ashish Gulagi, Mahdi Fasihi, Christian Breyer Full energy sector transition towards 100% renewable energy supply: integrating power, heat, transport and industry sectors including desalination *Appl Energy*, 283 (2021).
5. E. Vartiainen, G. Masson, C. Breyer, D. Moser and E. R. Medina, «Impact of weighted average cost of capital capital expenditure and other parameters on future utility–scale PV levelised cost of electricity», *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, vol. 28, no. 6, pp. 439–453, Jun. 2020.
6. Integration of vertical solar power plants into a future German energy system / Sophia Reker // *Smart Energy*. – 2022. – № 7. С. 1–12. – URL: <https://www.sciencedirect.com/> (дата обращения 06.01.2024)
7. K. Hansen, C. Breyer and H. Lund, «Status and perspectives on 100% renewable energy systems», *Energy*, vol. 175, pp. 471–480, May 2019.
8. K.–C. Huang, C.–J. Lee, S.–L. Chan and C.–H. Tai, «Vulnerability assessment and adaptation strategies for the impact of climate change on agricultural land in Southern Taiwan», *Sustainability*, vol. 12, no. 11, pp. 4637, Jun. 2020.
9. Kenneth Hansen, Brian Vad Mathiesen, Iva Ridjan Skov Full energy system transition towards 100% renewable energy in Germany in 2050 *Renew Sustain Energy Rev*, 102 (2019), pp. 1–13.
10. Kenneth Hansen, Christian Breyer, Henrik Lund Status and perspectives on 100% renewable energy systems *Energy*, 175 (2019), pp. 471–480.
11. M. Jaxa–Rozen and E. Trutnevityte, «Sources of uncertainty in long–term global scenarios of solar photovoltaic technology», *Nature Climate Change*, vol. 11, no. 3, pp. 266–273, Mar. 2021.
12. M. Shao, Z. Han, J. Sun, C. Xiao, S. Zhang and Y. Zhao, «A review of multi–criteria decision making applications for renewable energy site selection», *Renew. Energy*, vol. 157, pp. 377–403, Sep. 2020.
13. Mammadov, N. Analysis of the smart grid system for renewable energy sources / N. Mammadov, K. Mukhtarova // *Universum: технические науки*. – 2023. – No. 2–6(107). – P. 64–67.
14. N. M. Haegel et al., «Terawatt–scale photovoltaics: Transform global energy», *Science*, vol. 364, no. 6443, pp. 836–838, 2019.
15. Optimized Controller Gains Using Grey Wolf Algorithm for Grid Tied Solar Power Generation with Improved Dynamics and Power Quality / Veramalla Rajagopal; Danthurthi Sharath; Gundeboina Vishwas // *Chinese Journal of Electrical Engineering*. – 2022. – № 8. С. 75–85. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/> (дата обращения 07.01.2024).
16. V. C. Broto and J. Kirshner, «Energy access is needed to maintain health during pandemics», *Nature Energy*, vol. 5, no. 6, pp. 419–421, Jun. 2020.
17. Булин, М. Н. Анализ факторов, влияющих на выбор потенциальной площадки возобновляемых источников энергии / М. Н. Булин. – Текст: непосредственный // *Альтернативная энергетика*. – 2021. – Т. 2, № 2. – С. 60–63.

18. Гухман, Г. А. Развитие использования возобновляемых источников энергии / Г. А. Гухман. – Текст: непосредственный // Энергия: экономика, техника, экология. – 2020. – № 4. – С. 32–37.



АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕРСОНАЛА И НАДЕЖНОСТЬ ПОЛЕТОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 110 КВ

Ниязов Артур Ризванович,
Югорский государственный университет
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: niyazov_1988@mail.ru

Осипов Дмитрий Сергеевич,
доктор технических наук,
Югорский государственный университет
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: d_osipov@ugrasu.ru

Шепелев Александр Олегович,
кандидат технических наук,
Югорский государственный университет»,
Ханты-Мансийск, Россия
E-mail: a_shepelev@ugrasu.ru

Предмет исследования: в данной работе проводится анализ влияния электромагнитных полей на безопасность персонала, а также безопасность и производительность полетов беспилотных летательных аппаратов при эксплуатации линий электропередачи напряжением 110 кВ.

Цель исследования: построение картины электромагнитного поля ЛЭП 110 кВ с целью безопасной эксплуатации персоналом электроустановок, находящихся под напряжением при использовании беспилотных летательных аппаратов.

Объект исследования: электрические сети 110 кВ.

Методы исследования: моделирование допустимых (безопасных) расстояний до токоведущих частей ЛЭП в программе COMSOL Multiphysics.

Основные результаты исследования: построены карты электрического и магнитного полей провода линий электропередачи 110 кВ на расстоянии 1 м от токоведущей части.

Ключевые слова: линии электропередачи, электроустановки, электромагнитные поля, беспилотные летательные аппараты, безопасность персонала.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF ELECTROMAGNETIC FIELDS ON PERSONNEL SAFETY AND RELIABILITY OF FLIGHTS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES WHEN MONITORING 110 KV POWER LINES

Artur R. Niyazov
Yugra State University,
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: niyazov_1988@mail.ru

Dmitry S. Osipov
Doctor of Technical Sciences,
Yugra State University,
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: d_osipov@ugrasu.ru

Alexander O. Shepelev
Candidate of Technical Science, Associate Professor
Yugra State University,
Khanty-Mansiysk, Russia
E-mail: a_shepelev@ugrasu.ru

Subject of research: this paper analyzes the impact of electromagnetic fields on personnel safety, as well as the safety and performance of unmanned aerial vehicle flights in the operation of 110 kV transmission lines.

Purpose of research: building a picture of the electromagnetic field of transmission lines 110 kV and above for the purpose of safe operation of live electrical installations by personnel using unmanned aerial vehicles.

Object of study: 110 kV power grids.

Methods of research: modeling of permissible (safe) distances to live parts of power lines in COMSOL Multiphysics program.

Main results of research: the pictures of electric and magnetic fields of the wire of 110 kV transmission lines at a distance of 1 m from the current-carrying part are constructed.

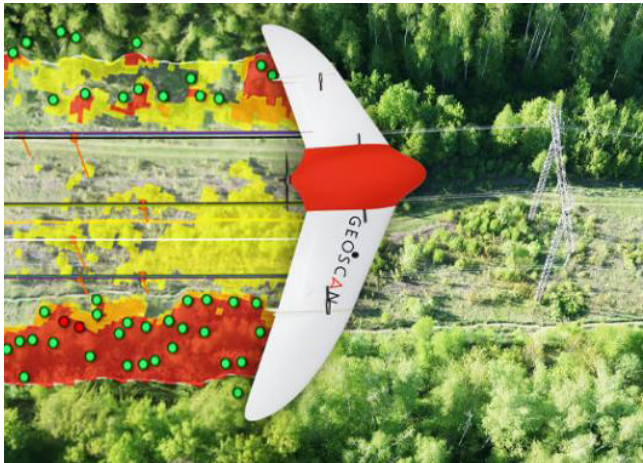
Keywords: power lines, electrical installations, electromagnetic fields, drones, personnel safety.

ВВЕДЕНИЕ

Современные технологии требуют углубленного рассмотрения вопросов безопасности труда, в особенности, в отрасли электроэнергетики, где автоматизированные системы играют ключевую роль в диагностике и обслуживании технологического оборудования. Развитие технологий неизбежно влечет за собой изменения в трудовых процессах и требует постоянного обновления подходов к обеспечению безопасности и здоровья работников. В контексте электротехнических установок и электрических сетей, где электрический ток, высокие напряжения, электромагнитные поля и прочие опасные факторы производственной

среды представляют собой потенциальные опасности, обеспечение безопасных условий труда для обслуживающего персонала, а также надежность полетов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) при мониторинге электроустановок становятся особенно актуальными. Требования об обеспечении безопасных условий и охраны труда закреплены в ст. 214 Трудового Кодекса Российской Федерации и являются обязательными для всех работодателей [1].

В настоящее время линии электропередачи (ЛЭП) напряжением 110 кВ, классифицируемые как питающие и системообразующие, являются неотъемлемой частью энергетической инфраструктуры. Высокие



а)



б)

Рисунок 1. Виды БПЛА: а – самолетного типа; б) – вертолетного типа.

требования к надежности технических элементов ЛЭП, сокращение количества и продолжительности плановых отключений и дополнительные экономические потери, связанные с плановыми и аварийными отключениями, обуславливают необходимость проведения качественного технического обслуживания и ремонта ЛЭП. Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии (Правила) установлены требования к организации и осуществлению технической эксплуатации всех типов электроустановок. Данные Правила распространяются на всех потребителей электрической энергии [2].

БПЛА, учитывая технические преимущества, являются универсальными инструментами для осуществления диагностики электроустановок. Использование БПЛА является эффективным средством для мониторинга электроустановок, в том числе, диагностики состояния элементов ЛЭП. Анализ мировых трендов свидетельствует о том, что область применения БПЛА для выполнения функций мониторинга в отрасли электроэнергетики постоянно расширяется. На сегодняшний день устойчиво формируются предложения по обследованию элементов ЛЭП при помощи БПЛА различных типов. Для диагностики воздушных ЛЭП уже активно используются БПЛА самолетного (рис. 1 а) и вертолетного типа (рис. 1 б) [3].

ЛЭП создают электромагнитные поля (ЭМП) в процессе передачи электроэнергии. ЭМП представляют собой комбинацию электрического поля (ЭП) и магнитного поля (МП), которые взаимодействуют с окружающей средой и влияют на различные объекты, в том числе на человека [4, с. 5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

МП возникает вокруг проводов ЛЭП вследствие протекания электрического тока. Интенсивность МП измеряется в амперах на метр (А/м) или теслах (Т) и зависит от силы тока, типа провода и расстояния до ЛЭП. В отличие от ЭП, МП сохраняет свою интенсивность на большем расстоянии от ЛЭП, что может быть важным при анализе воздействия на окружающую среду, оборудование и человека [5, с. 40].

Связь между ротором напряженности МП и плотностью тока в той же точке поле определяется первым уравнением Максвелла:

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{\delta} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad (1)$$

где $\vec{\delta}$ – плотность тока проводимости;

$\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ – плотность тока электрического

смещения.

Первое уравнение Максвелла следует из уравнения полного тока, определяющего количественную связь между циркуляцией вектора $\vec{H}$ по замкнутому контуру и током:

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = I, \quad (2)$$

где под полным током понимают весь ток (ток проводимости и ток смещения), пронизывающий контур интегрирования.

ЭП создается вокруг проводов ЛЭП, по которым протекает электрический ток. Его интенсивность измеряется в вольтах на метр (В/м) и зависит от напряжения и расстояния

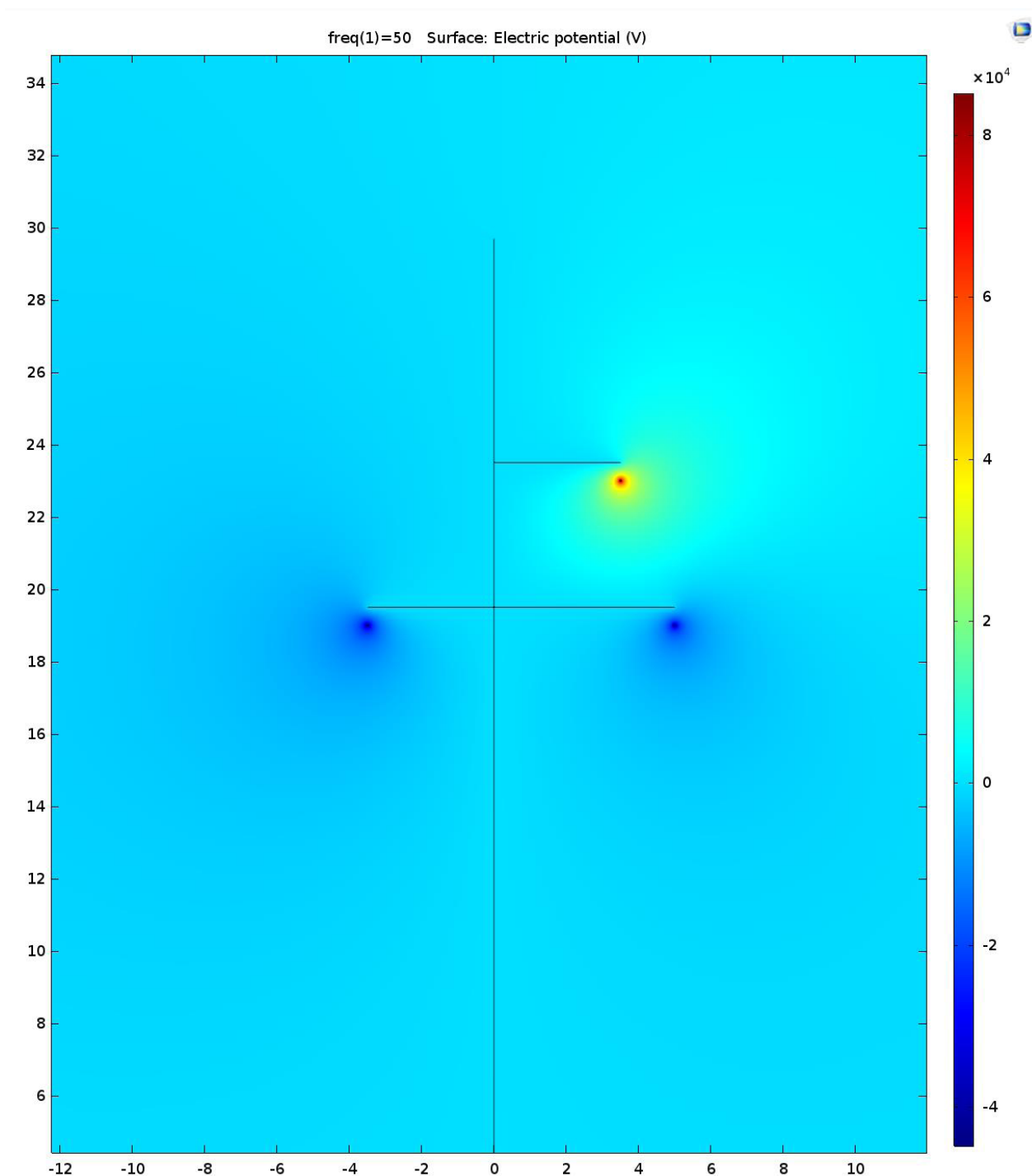


Рисунок 2. Потенциал электрического поля около опоры ЛЭП 110 кВ.

до проводов. ЭП изменяется с расстоянием от проводов и снижается за счет отдаления от ЛЭП. В связи с данными свойствами ЭП, предусмотрены допустимые расстояния до токоведущих частей электроустановок, находящимся под напряжением [5, с. 39].

Связь между ротором напряженности ЭП и скоростью изменения магнитного поля в той же точке поля определяется вторым уравнением Максвелла:

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3)$$

Важно отметить, что интенсивность ЭМП может различаться в зависимости от типа ЛЭП (воздушные или кабельные), уровня напряжения (кВ), типа проводов, режима работы и других технических характеристик. Следует учитывать, что ЭМП могут быть гармоническими и иметь определенную частоту,

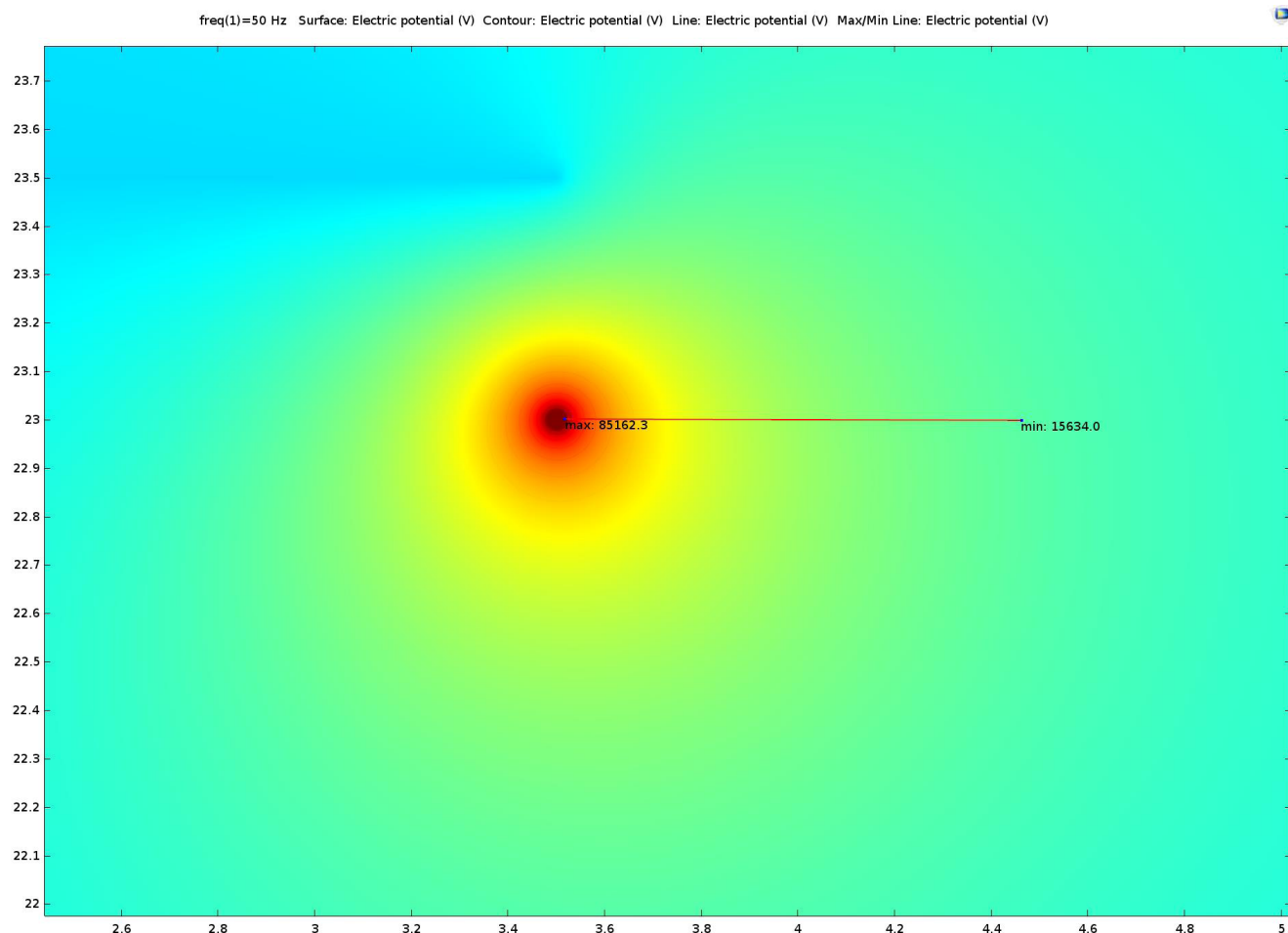


Рисунок 3. Напряженность электрического поля на расстоянии 1 метра от токоведущей части ЛЭП 110 кВ.

которая соответствует частоте переменного тока в системе электропередачи (основная частота 50 Гц или высшие гармоники, кратные основной частоте) [5, с. 43]

Для оценки воздействия ЭМП на человека учеными и практиками проводятся измерения и моделирование. Это позволяет определить уровни экспозиции и разработать стандарты и рекомендации для защиты здоровья людей и ограничения воздействия этих полей. Основные области исследований включают влияние ЭМП на нервную, сердечно-сосудистую и иммунные системы человека, а также органы зрения. Некоторые исследования предполагают, что длительное воздействие ЭМП низкой интенсивности может быть связано с повышенным риском развития некоторых заболеваний, но требуют дополнительных исследований для более точных выводов [4, с. 56].

Учитывая широкое применение БПЛА, при диагностике электроустановок российскими учеными проводятся исследования по построению оптимальной траектории движения для решения задач сбора визуальных

данных о повреждениях ЛЭП, в том числе, при работе БПЛА в зоне влияния ЭМП [6, 7]. Также за рубежом проводятся исследования влияния ЭМП на безопасность и производительность полетов БПЛА [8].

При этом не проводятся исследования по расчетам и построению безопасных (допустимых) расстояний от механизмов, а именно – БПЛА, до токоведущих частей электроустановок, находящихся под напряжением.

В работе [9, с. 14] автор приводит подробную классификацию электромагнитных воздействий (ЭМВ), которым могут подвергаться сами БПЛА при работе вблизи электроустановок, при этом в отношении ЭМВ техногенного или эксплуатационного происхождения отмечены:

- электромагнитные поля высоковольтных линий электропередачи в нормальном режиме и в режиме короткого замыкания;
- электромагнитные поля контактной сети железных дорог в нормальном режиме работы и в режиме короткого замыкания» [9, с. 14].

Таблица 1. Максимальные значения амплитуд напряженностей ЭМП (привод. по [11]).

Параметр	Однофазное КЗ	Двухфазное КЗ	Двухфазное КЗ на землю
E _{max} , кВ/м	2,77	1,455	0,601
H _{max} , А/м	91,26	114,36	121,43

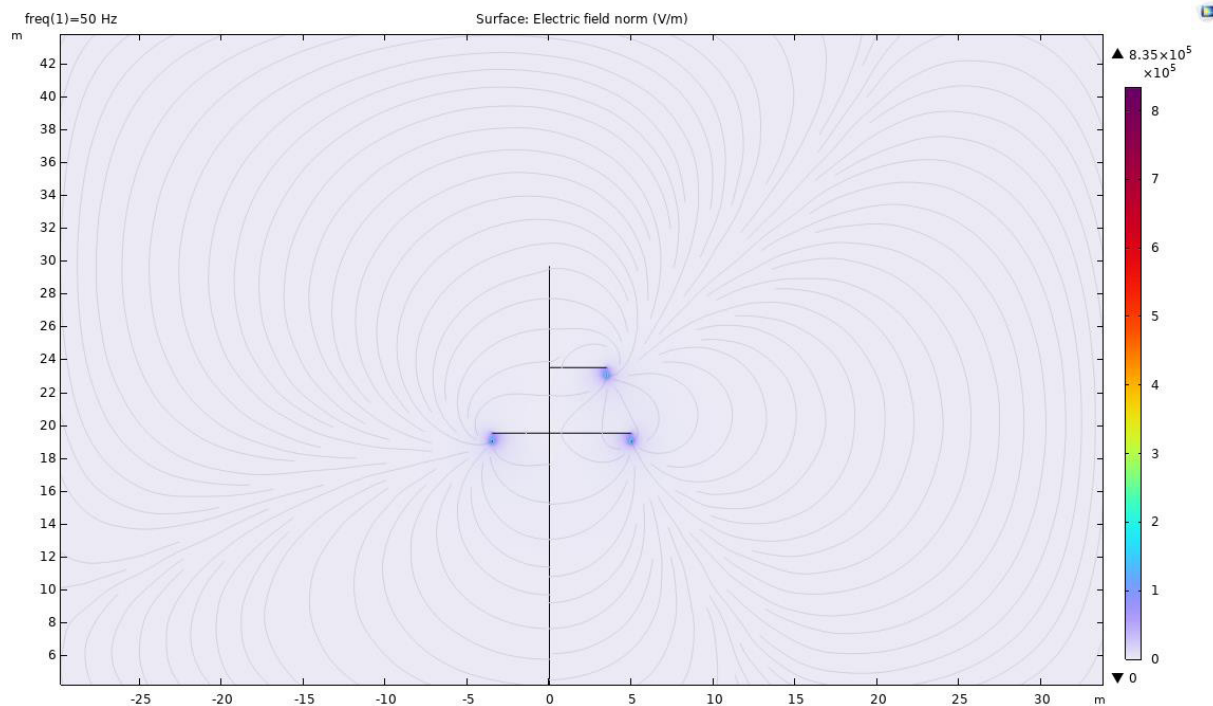


Рисунок 4. Напряженность электрического поля вблизи опоры ЛЭП 110 кВ.

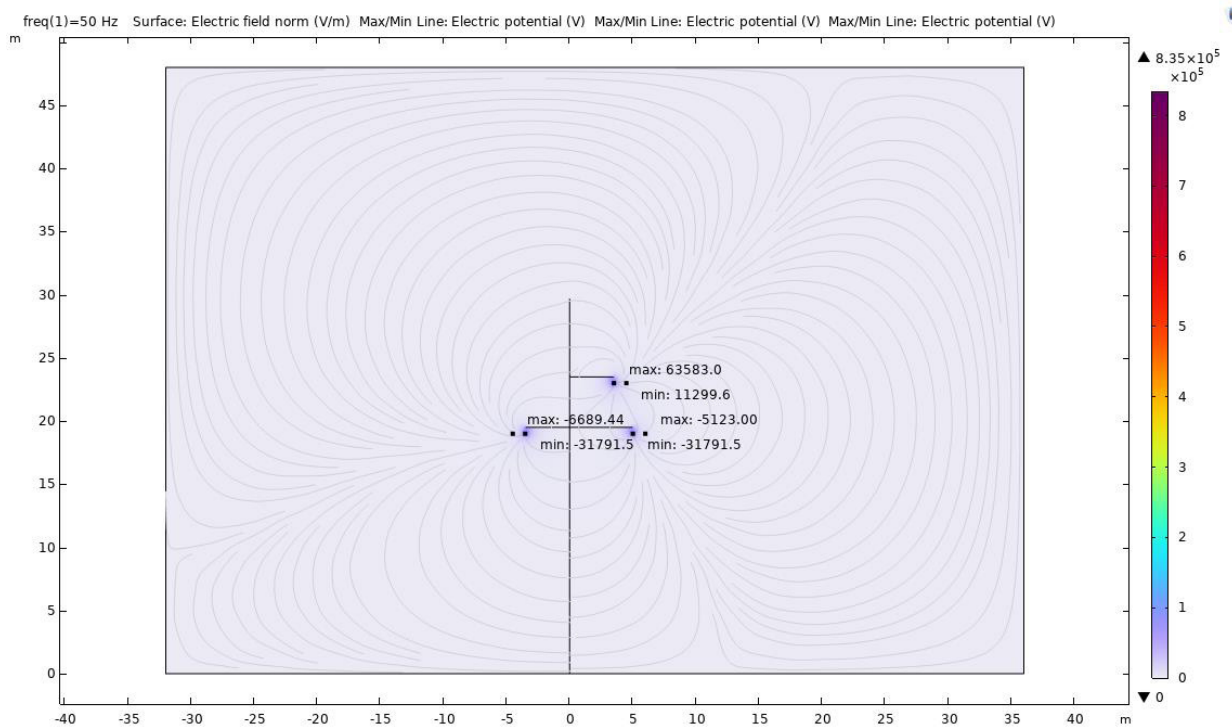


Рисунок 5. Электрический потенциал на расстоянии 1 метра от токоведущих частей ЛЭП 110 кВ.

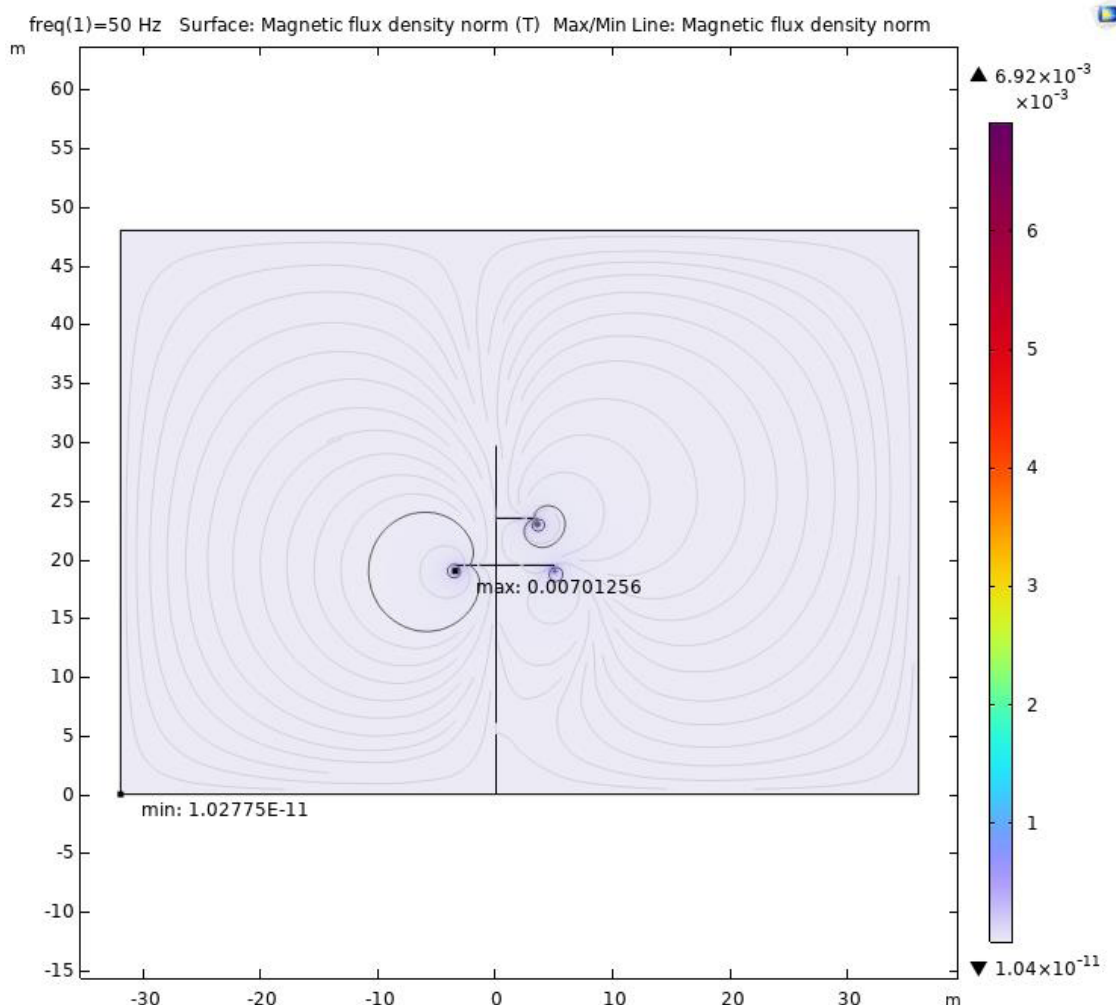


Рисунок 6. Плотность магнитного потока около ЛЭП 110 кВ (с максимальным значением).

Проведем моделирование ЭМП одноцепной ЛЭП 110 кВ. Потенциал фазы А выше, поскольку в моделировании применялись мгновенные значения (рис. 2)

Построим профиль ЭП провода ЛЭП на расстоянии в 1 м согласно допустимых расстояний до токоведущих частей электроустановок, находящихся под напряжением (Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок).

В статье [10] производятся исследования ЭМП при увеличении количества токоведущих частей, при этом авторы фиксируют рост уровней напряженностей, но отмечают отсутствие превышения допустимых значений [10, с. 11].

В работе [11] авторы поднимают вопрос о целесообразности расчета МП для режимов коротких замыканий (КЗ). Продолжительность режима КЗ, определяемая временем отключения устройствами релейной защиты, невелика, однако сопровождается значительными величинами токов, что влияет на возрастание напряженности МП. Результаты

расчетов значений амплитуд напряженностей ЭМП, полученных авторами, представлены в таблице 1 (привод. по [11, с. 335]).

Как следует из таблицы, в режиме коротких замыканий увеличивается напряженность МП. Следует отметить, что при переустройстве воздушных ЛЭП с заменой сталеалюминевых проводов на высокотемпературные возможно увеличение предельных рабочих токов, что также повлияет на напряженность МП.

Проведем моделирование ЭМП одноцепной ЛЭП выполненной проводом марки АС 240/32 с длительно допустимым током 605 А.

Электрический потенциал на расстоянии 1 метра от токоведущих частей составил ~ 11 300 В. Максимальная величина магнитного потока составила 0,007 Тл.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

1. С помощью программного продукта COMSOL Multiphysics было осуществлено моделирование ЭМП одноцепной ЛЭП 110 кВ,

были получены профили напряженности ЭП и плотности магнитного потока.

2. Представлены рекомендации по учету токов аварийных режимов (симметричные и несимметричные короткие замыкания) и токов нормальных режимов при использовании высокотемпературных проводов, поскольку это влечет увеличения напряженности МП.

3. Установлено, что воздействие ЭМП оказывают негативное влияние на окружающую среду, оборудование, а также на организм человека. Требуется разработка нормативно-технической документации по безопасному проведению работ роботизированными системами и БПЛА в зоне влияния ЭМП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 25.12.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2024).
2. Приказ Минэнерго России от 12.08.2022 г. № 811 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии».
3. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС»: СТО 56947007-29.200.10.235-2016. Методические указания по применению беспилотных летательных аппаратов для обследования воздушных линий электропередачи и энергетических объектов. – Текст: нормативно-технический материал: 2016. – 96 стр.
4. Гичев, Ю. П. Влияние электромагнитных полей на здоровье человека / Ю. П. Гичев, Ю. Ю. Гичев. – Текст: непосредственный // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. – 1999. – № 52. – С. 1–91.
5. Окраинская, И. С. Электромагнитные поля и излучения: учебное пособие / И. С. Окраинская. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2021. – 105 с. – Текст: непосредственный.
6. Астапова, М. А. Методика построения траектории беспилотных летательных аппаратов для автономного сбора визуальных данных о повреждениях линий электропередач в инфракрасном и ультрафиолетовом спектрах / М. А. Астапова, И. В. Лебедев, М. Ю. Уздяев. – Текст: непосредственный // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11, № 1(40). – С. 27–28. – DOI 10.26102/2310-6018/2023.40.1.003.
7. Шабанова, А. Р. Способ построения безопасных траекторий движения беспилотного летательного аппарата при мониторинге линий электропередач в условиях влияния электромагнитных полей / А. Р. Шабанова, И. М. Толстой, И. В. Лебедев. – Текст: непосредственный // Проблемы региональной энергетики. – 2019. – № 3(44). – С. 17–30. – DOI 10.5281/zenodo.3562201.
8. Electromagnetic Radiation from High-Voltage Transmission Lines: Impact on UAV Flight Safety and Performance / R. Dianovský, P. Pecho, P. Vel'ký, M. Hru'z // Transportation Research Procedia. – 2023. – vol. 75, – pp. 209–218. doi.org/10.1016/j.trpro.2023.12.024.
9. Фомина, И. А. Метод тестирования устойчивости телекоммуникационной системы управления беспилотных летательных аппаратов к воздействию сверхкоротких электромагнитных импульсов: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.13 / Фомина Ирина Андреевна. – Москва, 2015. – 139 с. : ил. – Текст: непосредственный.
10. Буякова, Н. В. Моделирование электромагнитных полей, создаваемых тяговыми сетями 25 кВ на многопутных участках / Н. В. Буякова, А. В. Крюков, К. В. Суслов, Д. А. Середкин. – Текст: непосредственный // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2022. – Т. 14, № 2(54). – С. 3–14.
11. Буякова, Н. В. Электромагнитная безопасность на трассах высоковольтных ЛЭП в режимах несимметричных коротких замыканий / Н. В. Буякова, А. В. Крюков, Д. А. Середкин. – Текст: непосредственный // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019: Сб. ст. по материалам международной научно-практической конференции. Севастополь: ФГА-ОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 2019. – С. 333–337.



ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВНЫХ И ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ГАРМОНИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ

Антонов Александр Игоревич,

кандидат технических наук, доцент,
Омский институт водного транспорта (филиал),
Сибирский государственный университет
водного транспорта,
Омск, Россия
E-mail: aleksandr_antonov_85@mail.ru

Руди Дмитрий Юрьевич,

Омский институт водного транспорта (филиал),
Сибирский государственный университет
водного транспорта
Омск, Россия

Предмет исследования: фильтрокомпенсирующие устройства.

Цель исследования: исследование конструктивных особенностей активных и пассивных фильтров гармоник.

Объект исследования: применение активных и пассивных фильтрокомпенсирующих устройств.

Результаты исследования: на основе проведенных исследований показано, что фильтрокомпенсирующих устройств способны эффективно снижать негативное воздействие гармонических искажений.

Ключевые слова: качество электрической энергии, электрическая сеть, гармоническое воздействие, несинусоидальность напряжений, высшие гармоники.

APPLICATION OF ACTIVE AND PASSIVE FILTER-COMPENSATING DEVICES TO REDUCE THE NEGATIVE EFFECTS OF HARMONIC DISTORTIONS

Alexander I. Antonov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Omsk Institute of Water Transport (branch),
Siberian State University of Water Transport
Omsk, Russia
E-mail: aleksandr_antonov_85@mail.ru

Dmitry Yu. Rudy

Omsk Institute of Water Transport (branch),
Siberian State University of Water Transport
Omsk, Russia

Subject of research: processes occurring in electrical networks with induction heating installations.

Purpose of research: filter compensators.

Object of research: study of design features of active and passive harmonic filters.

Methods of research: in the process of performing research, scientific and technical generalization of literary sources according to the initial prerequisites for research, methods of probability theory and mathematical statistics were used. Experimental studies were carried out by a complex method using the Resurs-PKE device.

Main results of research: on the basis of conducted researches it is shown that filter-compensating devices can effectively reduce the negative impact of harmonic distortions.

Keywords: quality of electric energy, electric network, harmonic effect, voltage non-sinusoidality, higher harmonics.

ВВЕДЕНИЕ

Пассивные фильтры играют важную роль в устранении гармоник в энергосистемах. Эти фильтры работают на основных принципах теории электрических цепей, используя характерные свойства резисторов, катушек индуктивности и конденсаторов для избирательного устранения нежелательных частот [1].

Пассивный фильтр представляет собой комбинацию резисторов, конденсаторов и катушек индуктивности, расположенных в различных конфигурациях для достижения желаемого эффекта фильтрации. Основная функция пассивного фильтра – пропускать определенные частоты, блокируя или ослабляя другие. В первую очередь, это достигается за счет использования частотно-зависимых характеристик импеданса конденсаторов и катушек индуктивности [2].

Конденсаторы и катушки индуктивности обладают различными характеристиками сопротивления в зависимости от частоты. Полное сопротивление (Z) конденсатора обратно

пропорционально частоте (f) и емкости (C), определяемой как

$$Z = 1 / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot C). \quad (1)$$

С увеличением частоты сопротивление уменьшается, таким образом, конденсаторы имеют тенденцию «блокировать» низкочастотные сигналы и «пропускать» высокочастотные. С другой стороны, полное сопротивление катушки индуктивности прямо пропорционально частоте и индуктивности (L), определяемой как

$$Z = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L. \quad (2)$$

Катушки индуктивности имеют тенденцию «пропускать» низкочастотные сигналы и «блокировать» высокочастотные сигналы.

В контексте энергосистем пассивные фильтры обычно предназначены для «блокирования» или «улавливания» гармонических частот, пропуская основную частоту. Обычно это достигается за счет конструкции фильтра таким образом, чтобы его сопротивление был высоким на частотах гармоник и низким на основной частоте.



РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эффективность пассивного фильтра в устранении гармоник зависит от его конструкции и размещения в энергосистеме. Конструкция включает в себя выбор соответствующих значений сопротивления, индуктивности и емкости для достижения желаемого эффекта фильтрации. Размещение фильтра в системе электроснабжения также имеет решающее значение, поскольку для эффективного устранения гармоник он должен располагаться близко к источнику.

Важно отметить, что, хотя пассивные фильтры относительно просты и экономичны, они менее гибки, чем активные фильтры. На их производительность могут влиять изменения условий эксплуатации системы. Поэтому для обеспечения их эффективной работы необходима тщательная разработка и внедрение.

Пассивные фильтры подразделяются на различные типы в зависимости от характеристик частотной характеристики и конфигурации схемы. Для устранения гармоник обычно используются три типа пассивных фильтров: фильтры с однонаправленной настройкой, фильтры с двойной настройкой и фильтры высоких частот.

Фильтр с одиночной настройкой, также известный как последовательный фильтр, пропускает определенную частоту, одновременно ослабляя все остальные частоты. Фильтры этого типа состоят из последовательного резонансного контура с катушкой индуктивности (L) и конденсатором (C). Резонансная частота контура (f_r) определяется значениями L и C , заданными через

$$f_r = 1/(2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}). \quad (3)$$

На резонансной частоте полное сопротивление фильтра минимально, что позволяет пропускать соответствующую гармонику. Все остальные частоты имеют более высокое полное сопротивление и, таким образом, ослабляются. Фильтры с однонаправленной настройкой обычно предназначены для определения конкретной проблемной гармоники в энергосистеме.

На рисунке 1 показана принципиальная схема и типичная характеристика полного сопротивления для однонастраиваемого фильтра.

Фильтр с двойной настройкой представляет собой комбинацию двух фильтров с одиночной настройкой. Он предназначен для пропускания двух определенных частот при одновременном ослаблении всех остальных частот. Этот тип фильтров полезен, когда необходимо устранить две значимые гармоники. Конструкция фильтра с двойной настройкой включает в себя выбор значений индуктивности и емкости для каждого резонансного контура таким образом, чтобы они резонировали на двух целевых частотах гармоник.

На рисунке 2 показана принципиальная схема и типичная характеристика полного сопротивления фильтра с двойной настройкой.

Фильтр верхних частот пропускает все частоты выше определенной частоты среза, одновременно ослабляя все частоты ниже среза. Фильтр этого типа состоит из последовательной цепи с резистором (R) и конденсатором (C). Частота среза (f_c) определяется значениями R и C , задаваемыми через

$$f_c = 1/(2 \cdot \pi \cdot R \cdot C). \quad (4)$$

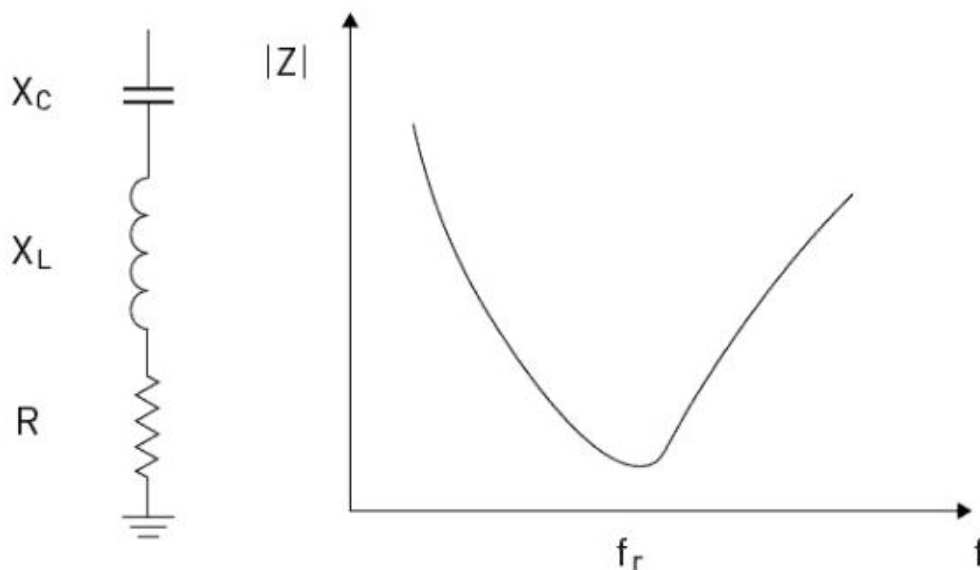


Рисунок 1. Фильтр с одиночной настройкой.

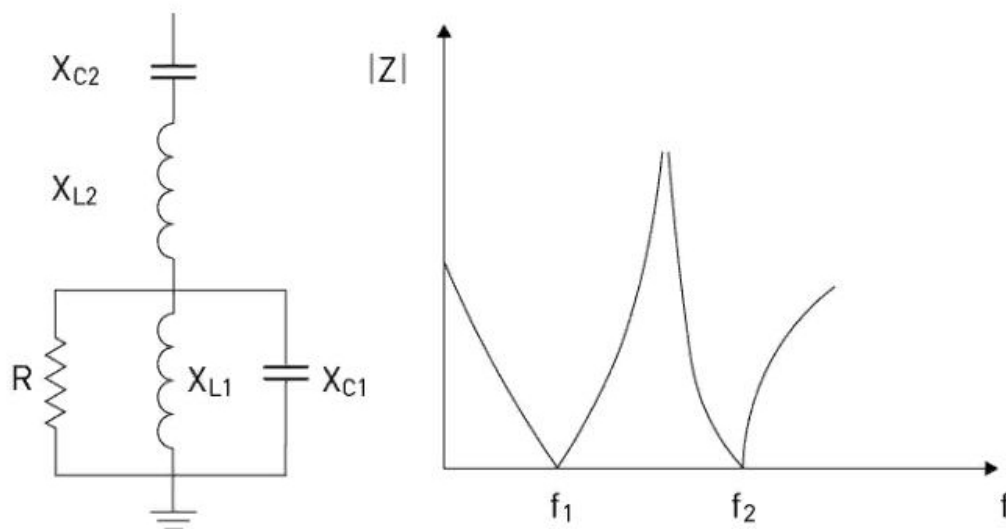


Рисунок 2. Фильтр с двойной настройкой.

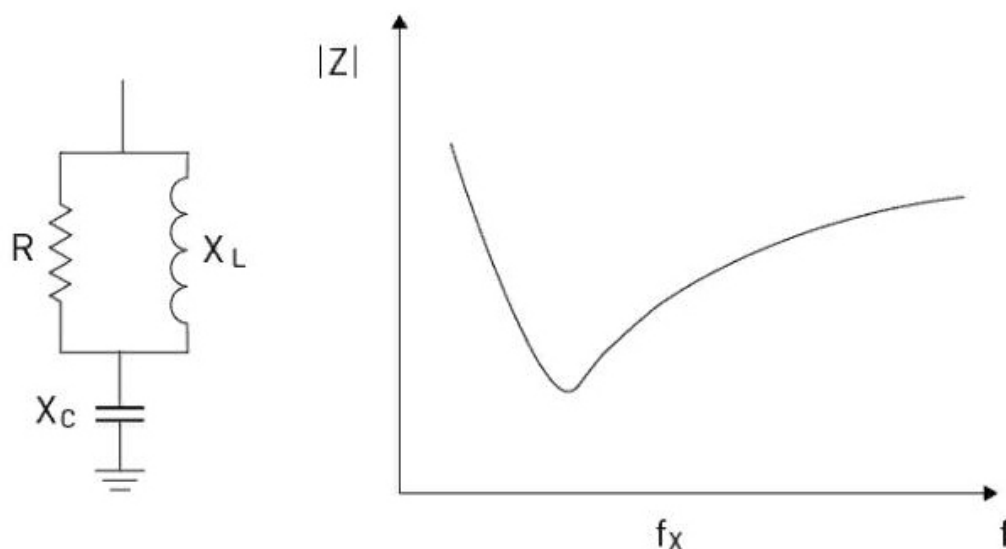


Рисунок 3. Фильтр верхних частот.

На частотах выше порогового значения импеданс фильтра уменьшается, позволяя частотам проходить. На частотах ниже порогового значения импеданс фильтра увеличивается, уменьшая частоты. Фильтры верхних частот полезны в системах электроснабжения, где имеется много гармоник высокого порядка, которые необходимо устранить.

На рисунке 3 показана принципиальная схема и типичная характеристика полного сопротивления фильтра верхних частот.

Проектирование пассивного фильтра для устранения гармоник в энергосистеме требует тщательного учета нескольких факторов, включая настройку фильтра, номинальную мощность фильтра, полное сопротивление и размещение фильтра в энергосистеме [3].

Настройка фильтра заключается в выборе значений индуктивной и емкостной составляющих фильтра, чтобы заставить его резонировать на частоте гармоники, которую необходимо устранить. Процесс настройки имеет решающее значение для обеспечения минимального полного сопротивления фильтра на частоте гармоники, что позволяет эффективно устранять ее. Например, резонансная частота однонастраиваемого фильтра определяется через формулу (3).

В случае фильтра с двойной настройкой два набора ЖК-контуров настроены так, чтобы резонировать на двух разных частотах.

Номинальная мощность фильтра определяет максимальный ток или напряжение, которые фильтр может выдерживать

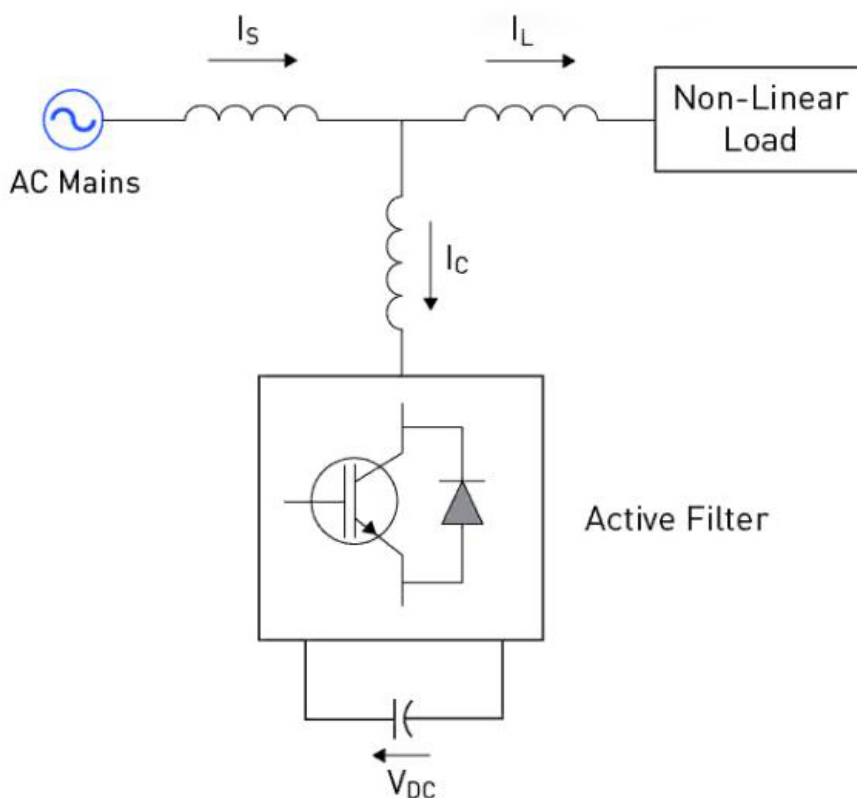


Рисунок 4. Шунтирующий активный фильтр.

без ухудшения своих характеристик или повреждения. Она определяется номинальной мощностью индуктивных и емкостных компонентов, используемых в фильтре. Полное сопротивление фильтра на резонансной частоте должно быть низким, чтобы позволить току гармоники проходить через фильтр, и высоким на основной частоте, чтобы предотвратить его шунтирование через фильтр. Точный расчет полного сопротивления фильтра жизненно важен для обеспечения того, чтобы фильтр функционировал должным образом, не вызывая нежелательных потерь мощности.

Размещение фильтра в системе электропитания является еще одним важным конструктивным соображением. В идеале фильтр должен располагаться как можно ближе к источнику гармоник [4]. Это помогает предотвратить распространение гармонических токов по энергосистеме, снижая вероятность возникновения проблем, связанных с гармониками, таких как повышенные потери, помехи для другого оборудования и ухудшение качества электроэнергии. Кроме того, фильтр следует размещать там, где он может эффективно подавлять гармоники, не вызывая проблем с потоком электроэнергии и не ставя под угрозу стабильность энергосистемы [5].

Активные фильтры используются для устранения гармоник в энергосистемах. В отличие от пассивных фильтров, которые

используют компоненты реактивной мощности (конденсаторы и катушки индуктивности) для создания пути для гармонических токов, активные фильтры работают за счет подачи токов, равных по величине, но противоположных по фазе гармоническим токам, присутствующим в системе [6].

Принцип активной фильтрации можно понять, рассмотрев простой случай однофазной системы. Если нелинейная нагрузка генерирует гармонический ток, этот ток будет искажать форму сигнала напряжения в энергосистеме, что приведет к ухудшению качества электроэнергии. Активный фильтр, подключенный к этой системе, измеряет ток нагрузки, вычисляет составляющие гармоник, а затем генерирует ток компенсации, который является точным отрицательным значением тока гармоник. Когда этот компенсационный ток подается в систему, он нейтрализует гармонический ток, в результате чего получается синусоидальный суммарный ток.

Активные фильтры в основном управляются силовыми электронными устройствами, такими как биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT) или МОП-транзисторы. Эти устройства включаются и выключаются с высокой скоростью, позволяя фильтру быстро реагировать на изменения тока нагрузки и поддерживать эффективную компенсацию гармоник [7].

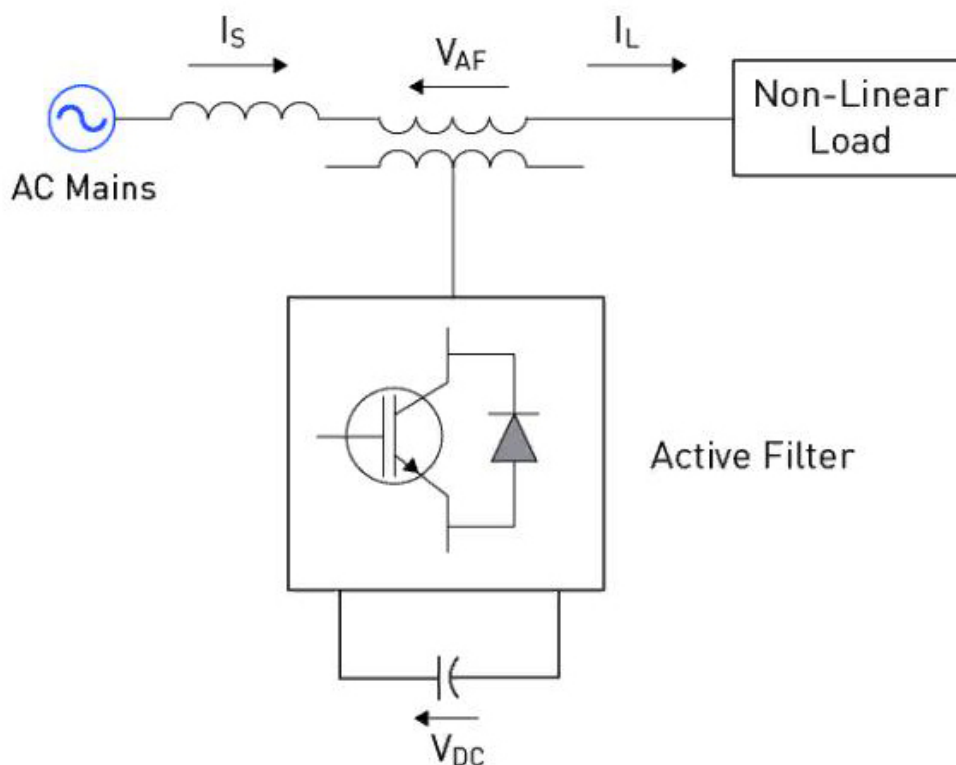


Рисунок 5. Серийный активный фильтр.

Активные фильтры имеют ряд преимуществ перед пассивными фильтрами. Они могут устранять несколько гармоник одновременно и адаптироваться к изменениям частоты энергосистемы и спектра гармоник. Кроме того, они не создают резонансных проблем в энергосистеме, которые могут возникнуть при использовании пассивных фильтров [8, 9].

Активные фильтры для смягчения гармоник в широком смысле можно разделить на три типа: шунтирующие активные фильтры, серийные активные фильтры и гибридные активные фильтры.

Шунтирующие активные фильтры подключаются параллельно нагрузке. Эти фильтры оценивают гармонический ток от нагрузки и генерируют компенсирующий ток, который нейтрализует гармоническую составляющую. Шунтирующие активные фильтры особенно эффективны для уменьшения гармоник тока и могут компенсировать несбалансированные и реактивные нагрузки. В первую очередь, они используются для повышения коэффициента мощности, балансировки нагрузки и устранения гармоник. Топология шунтирующего фильтра активной мощности показана на рисунке 4.

Серийные активные фильтры, как следует из их названия, подключаются последовательно к системе электропитания. Они работают за счет подачи напряжения, которое

нейтрализует гармоническое напряжение в системе, обеспечивая, таким образом, получение нагрузкой синусоидального напряжения. В отличие от шунтирующих активных фильтров, которые, в первую очередь, устраняют гармоники тока, серийные активные фильтры эффективно снижают гармоники напряжения. Они обычно используются для подавления колебаний напряжения, регулирования напряжения на клеммах и изоляции нагрузки от источника питания. Топология последовательного фильтра активной мощности показана на рисунке 5.

Гибридные активные фильтры представляют собой комбинацию как шунтирующих, так и последовательных фильтров, обычно включающих пассивный фильтр. Такая конфигурация позволяет одновременно снижать как гармоники тока, так и напряжения. Активная часть фильтра обрабатывает гармоники более высокого порядка с переменной частотой, в то время как пассивная часть обрабатывает гармоники более низкой частоты с фиксированной частотой. Гибридные активные фильтры используют преимущества как последовательных, так и шунтирующих фильтров, сводя к минимуму их недостатки. Топология гибридного активного фильтра мощности показана на рисунке 6.

Двумя наиболее распространенными стратегиями управления, используемыми в

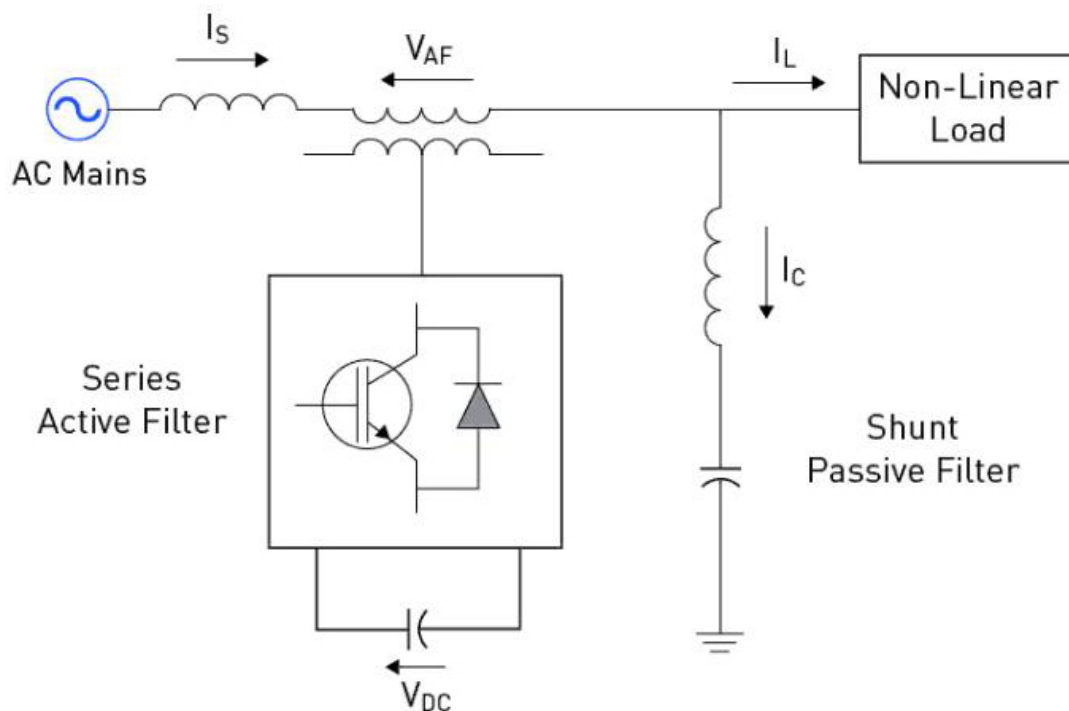


Рисунок 6. Шунтирующий активный фильтр.

активных фильтрах, являются метод синхронной системы отсчета и теория мгновенной реактивной мощности. Эти методологии отличаются своей сложностью, скоростью расчета и пригодностью для различных сценариев.

Метод синхронной системы отсчета, также известный как преобразование $dq0$, является широко используемой стратегией управления активными фильтрами. Основная концепция, лежащая в основе этого метода, заключается в преобразовании трехфазных напряжений и токов из временной области (ABC) в синхронный кадр $dq0$, где анализ сигнала становится более простым [10].

В синхронной системе отсчета токи и напряжения представлены в виде величин постоянного тока, а гармонические составляющие – в виде сигналов переменного тока. Алгоритм управления оценивает составляющие гармоник, отфильтровывая постоянную часть сигнала, а затем генерирует компенсирующий ток для устранения этих гармоник.

Теория мгновенной реактивной мощности (IRPT), также известная как теория $p-q$, является еще одной стратегией управления, используемой в активных фильтрах. Этот метод вычисляет активную (p) и реактивную (q) мощности в режиме реального времени и использует эти величины для определения эталонных компенсирующих токов [11].

Данная теория предназначен для мгновенной компенсации, что делает его подходящим для несинусоидальных,

несбалансированных и быстро меняющихся нагрузок. В отличие от метода синхронной системы отсчета, который требует преобразования в синхронный кадр, теория мгновенной реактивной мощности работает непосредственно во временной области. Эта особенность делает эту теорию эффективным с точки зрения вычислений методом, особенно ценным для приложений реального времени.

Однако важно отметить, что теория $p-q$ предполагает, что напряжение источника синусоидальное и сбалансированное. Если это предположение не выполняется, эффективность компенсации может ухудшиться.

Теория мгновенной реактивной мощности являются мощными инструментами для управления активными фильтрами. Выбор между этими методологиями зависит от конкретных требований энергосистемы, таких как характер нагрузки, спектр гармоник и доступные вычислительные ресурсы.

Номинальная мощность и размеры активных фильтров являются решающими факторами в процессе их проектирования, и они, в первую очередь, определяются на основе характера нагрузки и спектра гармоник, присутствующих в энергосистеме. Номинальная мощность активного фильтра обычно выражается в единицах его емкости ВА (вольт-ампер), которая определяет максимальную кажущуюся мощность, которую может выдержать фильтр.

При выборе активного фильтра важно учитывать ток основной частоты и гармонические токи, которые фильтр, как ожидается, должен устранять. Анализ спектра гармоник нагрузки обычно проводится для оценки уровней гармонических токов на различных частотах. Размер активного фильтра должен соответствовать максимальному току гармоник, обеспечивая эффективную компенсацию гармоник при любых условиях эксплуатации [12].

В активных фильтрах силовые электронные преобразователи служат центральным компонентом, который соединяет фильтр с системой электропитания. Интеграция активных фильтров с силовыми электронными преобразователями требует нескольких важных соображений.

Во-первых, выбор топологии силового электронного преобразователя влияет на производительность активного фильтра. Обычно используемые топологии включают преобразователь источника напряжения и преобразователь источника тока, каждый из которых обладает преимуществами и специфическими областями применения. Преобразователь источника напряжения, например, предпочтителен для шунтирующих активных фильтров, учитывая его способность генерировать требуемый ток компенсации независимо от тока нагрузки.

Во-вторых, схема управления силовым электронным преобразователем является важнейшим аспектом конструкции активного фильтра [13]. Схема управления определяет, как преобразователь реагирует на команды компенсации из алгоритма управления фильтром. Распространенные стратегии управления включают гистерезисный контроль, PI-контроль и скользящий режим, каждый из которых отличается своими рабочими характеристиками и сложностями реализации.

Наконец, при проектировании силового электронного преобразователя следует учитывать номинальную мощность системы, рабочее напряжение и частоту, а также требования к терморегулированию. Эти факторы определяют технические характеристики силовых электронных устройств (IGBT, MOSFET, диоды и т. д.) и других компонентов (катушки индуктивности, конденсаторы, радиаторы и т. д.), используемых в конструкции преобразователя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Коммунальные предприятия часто устанавливают свои собственные требования к качеству электроэнергии и уровням гармоник, которые обычно основаны на конкретных

характеристиках их энергосистемы и эксплуатационных требованиях [14-16]. Они могут быть более строгими, чем предписано в стандарте [17], в первую очередь, для обеспечения стабильности и надежности их сети.

Коммунальные предприятия требуют от потребителей соблюдения этих требований, в противном случае могут быть наложены штрафные санкции. Следовательно, конструкция активного фильтра должна соответствовать государственным стандартам и особым требованиям, установленным предприятием.

Таким образом, стандарты и регламенты являются неотъемлемой частью проектирования и эксплуатации активных фильтров для устранения гармоник. Они служат для установления общей основы для определения допустимых уровней гармоник и гарантируют надежную работу всех подключенных устройств без вмешательства в работу друг друга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руди, Д. Ю. Применение пассивных фильтров гармоник в системах электроснабжения промышленных предприятий / Д. Ю. Руди. – Текст: непосредственный // В сборнике: Фундаментальные научно-практические исследования: основные итоги – 2020. Сборник научных трудов по материалам V Международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 24–29.
2. Атаманов, М. Н. Расчёт параметров и анализ работы пассивного фильтра гармоник / М. Н. Атаманов, Н. М. Дрей, А. Г. Зиганшин, Г. М. Михеев. – Текст: непосредственный // Вестник Чувашского университета. – 2020. – № 1. – С. 17–25.
3. Методика расчета пассивных фильтров, предназначенных для компенсации высших гармоник тока в системах электроснабжения промышленных предприятий / Д. В. Коваленко, Б. Ю. Киселёв, Д. И. Плотноков [и др.]. – Текст: непосредственный // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 1-4 (55). – С. 82–86.
4. Данилов, Г. А. Повышение качества функционирования линий электропередачи / Г. А. Данилов, Ю. М. Денчик, М. Н. Иванов, Г. В. Ситников; под ред. В. П. Горелова, В. Г. Сальникова. – Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2013. – 559 с. – Текст: непосредственный.
5. Электромагнитная совместимость потребителей [Текст]: моногр. / И. В. Жежеленко, А. К. Шидловский, Г. Г. Пивняк и др. – М.: Машиностроение, 2012. – 351 с. – Текст: непосредственный.
6. Лютаевич, А. Г. Оценка эффективности использования активного фильтра гармоник в системах электроснабжения для улучшения качества электроэнергии / А. Г. Лютаевич, С. Ю. Долингер. – Текст: непосредственный // Омский научный вестник. – 2010. – № 1 (87). – С. 133–136.

7. Замула, К. В. Активный фильтр гармоник как средство повышения качества электрической энергии / К. В. Замула, Ю. В. Соколов, А. В. Карманов. – Текст: непосредственный // Энергия единой сети. – 2018. – № 2 (37). – С. 22–32.
8. Руди, Д. Ю. Сравнительный анализ применения фильтрокомпенсирующих устройств в системах электроснабжения промышленных предприятий / Д.Ю. Руди, С. В. Горелов, К. С. Мочалин, А. А. Руппель. – Текст: непосредственный // В сборнике: Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции «Современные научные исследования: актуальные проблемы и тенденции». «Речной Форум 2019». Министерство транспорта Российской Федерации Федеральное агентство морского и речного транспорта, Омский институт водного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта». – 2019. – С. 225–232.
9. Ключев, Р. В. Повышение качества электроэнергии на промышленных предприятиях за счет применения активного фильтра гармоник / Р. В. Ключев, И. И. Босиков, О. А. Гаврина, В. И. Голик. – Текст: непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2022. – № 2. – С. 313–324.
10. Боярская, Н. П. Адаптивная система формирования управляющих сигналов для активных фильтров гармоник / Н. П. Боярская, А. М. Дербенев, В. П. Довгун. – Текст: непосредственный // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2-1. – С. 25–29.
11. Жилин, Е. В. Алгоритмы управления активными фильтрами гармоник / Е. В. Жилин, Е. Ю. Казак. – Текст: непосредственный // В сборнике: МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОСТЬ НАУКИ КАК ФАКТОР ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ. сборник статей Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 23–28.
12. Титов, Д. Ю. Выбор силовой схемы активного фильтра гармоник / Д. Ю. Титов, А. С. Плехов. – Текст: непосредственный // В сборнике: Актуальные проблемы электроэнергетики. материалы научно-технической конференции. Нижний Новгород. – 2012. – С. 50–54.
13. Жуков, Н. А. Анализ систем управления активными фильтрами гармоник / Н. А. Жуков. – Текст: непосредственный // В сборнике: Образование, наука, производство. Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. – 2015. – С. 2988–2992.
14. Стандарт организации СТО 56947007 – 29.240.044–2010. Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства. – М.: ОАО «ФСК ЕЭС». – 2010. – 143 с. – Текст: непосредственный
15. РД 153–34.0–15.501–00. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: Часть 1. Контроль качества электрической энергии. – М.: Минэнерго РФ. – 2000. – 67 с. – Текст: непосредственный
16. РД 153–34.0–15.502–02. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: Часть 2. Анализ электрической энергии. – М.: Минэнерго РФ. – 2002. – 49 с. – Текст: непосредственный
17. ГОСТ 32144-2013 Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Взамен ГОСТ 13109-97; введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ. – 2014. – 20 с. – Текст: непосредственный



ВЕСТНИК

ЮГОРСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

BULLETIN

YUGRA STATE UNIVERSITY

Научное издание
Том 20, выпуск 1 (2024)
Цена свободная
16+

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет»

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-73606 от 31 августа 2018 г.

Подписано в печать: 29.03.2024
Дата выхода в свет: 15.04.2024
Формат 60x84 1/8. Гарнитура Montserrat.
Усл. печ. л. 14,8. Тираж 1000 экз. Заказ № 279.

Адрес учредителя, издателя и редакции:
628012, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра,
г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16

Отпечатано в секторе редакционно-издательской работы
Научной библиотеки ФГБОУ ВО ЮГУ:
628012, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра,
г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16

Главный редактор – Лапшин Валерий Федорович,
тел. +7 (3467) 377-000 (доб. 559)