

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Бурятский государственный университет
имени Доржи Банзарова»

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ПРИРОДООХРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Материалы всероссийской научной конференции с международным участием,
посвященной 80-летию доктора технических наук, профессора, академика
Национальной академии наук Монголии Сергея Лубсановича Буянтуева*

(Улан-Удэ, 5-7 августа 2025 г.)

Улан-Удэ
Издательство Бурятского госуниверситета имени Доржи Банзарова
2025

УДК 621.311.1.004:504.5(082)
ББК 31.29-5:20.18я431
Э 653

Утверждено редакционно-издательским советом
Бурятского государственного университета
Протокол № 7 от 14 ноября 2025 г.

Рецензенты

П. А. Болоев

доктор технических наук, профессор
кафедры общей и теоретической физики, БГУ им. Д. Банзарова

С. Ю. Шишулькин

кандидат технических наук, доцент
кафедры общей и теоретической физики, БГУ им. Д. Банзарова

Сборник размещен в системе РИНЦ
на платформе Научной электронной библиотеки eLibrary.ru

Э 653 **Энергосберегающие и природоохранные технологии:** материалы всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 80-летию доктора технических наук, профессора, академика Национальной академии наук Монголии Сергея Лубсановича Буянтуева / научный редактор М. В. Дармаев. – Улан-Удэ: Издательство Бурятского госуниверситета им. Д. Банзарова, 2025. – 124 с. ISBN 978-5-9793-2065-6

Сборник посвящен 80-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора, академика Национальной академии наук Монголии, заслуженного деятеля науки Республики Бурятия, почетного работника высшего профессионального образования Российской Федерации, заслуженного деятеля высшей школы Российской Федерации, почетного гражданина Селенгинского района Республики Бурятия Сергея Лубсановича Буянтуева, которая состоялась 5-7 августа 2025 г. в г. Улан-Удэ.

УДК 621.311.1.004:504.5(082)
ББК 31.29-5:20.18я431

ISBN 978-5-9793-2065-6

© Бурятский госуниверситет
им. Д. Банзарова, 2025

Научная статья
УДК 001.89:533.9
DOI 10/18101/978-5-9793-2065-6-3-10

НАУЧНАЯ ШКОЛА ПРОФЕССОРА С. Л. БУЯНТУЕВА

© **Цырендоржиева Дари Шойбоновна**

доктор философских наук, профессор,
Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова,
Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а
dari145@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты деятельности научной школы доктора технических наук, профессора, академика Национальной академии наук Монголии, заслуженного деятеля науки Республики Бурятия, почетного работника высшего профессионального образования Российской Федерации, заслуженного деятеля высшей школы Российской Федерации, Почетного гражданина Селенгинского района Республики Бурятия Сергея Лубсановича Буянтуева. Профессор С. Л. Буянтуев – автор более 500 научных публикаций, 39 патентов Российской Федерации, руководитель 11 направлений НИР: плазменно-энергетические процессы и технологии; разработка методов и средств экономики электроэнергии; утилизация бытовых и медицинских отходов и др. В статье представлены основные направления деятельности научной школы, раскрыты теоретические положения, составляющие новизну диссертационных работ аспирантов и соискателей. Сергей Лубсанович – известный ученый не только в России, но и за рубежом.

Ключевые слова: Сергей Лубсанович Буянтуев, плазменная технология, физика плазмы, безмазутная технология растопки котлов, утилизация бытовых и медицинских отходов.

Сергей Лубсанович Буянтуев закончил Восточно-Сибирский технологический институт в 1971 г. и начал работать в родном институте. С 1975 по 1978 г. прошел обучение в аспирантуре Ленинградского политехнического института. Успешно защитив диссертацию, вернулся работать в Восточно-Сибирский технологический институт. Он не только читал лекции и вел практические занятия, но и продолжал заниматься научной деятельностью. В 1982 г. создал научную лабораторию «Колебательный контур» для исследования процессов гашения электрической дуги в потоке воздуха, элегаза и их смесей.

Сергей Лубсанович являлся одним из инициаторов и организаторов открытия в г. Гусиноозерске энергетического техникума, филиала Восточно-Сибирского государственного технологического университета. В 1991-2001 гг. работал заведующим научной лабораторией «Плазменно-энергетических технологий» при Гусиноозерской ГРЭС, затем «Отраслевого центра плазменно-энергетических технологий» РАО ЕЭС России. Названия лаборатории и отраслевого центра свидетельствуют о научном направлении исследования. Одним из первых результатов явилась защита кандидатской диссертации Евгения Ивановича Карпенко под руководством С. Л. Буянтуева на тему «Комплексное использование плазменных методов переработки и интенсифика-

ции горения энергетических топлив» по специальности «Тепловые электрические станции» в Новосибирском электротехническом институте в 1992 г. Научная новизна данного исследования состояла в предложенной концепции топливо-использования в экологически легко уязвимых регионах страны; проводимом комплексе расчетно-теоретических стендовых и промышленных исследований плазменных технологий обработки твердых и жидких топлив, показавших высокую эффективность применения низкотемпературной плазмы; разработке метода оценки экономико-экологической эффективности технологий топливо-использования; определении оптимальных параметров рассматриваемых плазменных процессов и устройств [3].



Рис. 1. Буянтуев С. Л., доктор технических наук, профессор

В 1996 г. сотрудник лаборатории Владислав Николаевич Ханхасаев в Новосибирске защитил диссертацию «Математическое моделирование процесса гашения электрической дуги с помощью неклассических уравнений математической физики» и стал кандидатом физико-математических наук. Научная новизна работы заключалась в разработке комплекса математических моделей для описания процесса гашения электрической дуги в продольном потоке газа при переходе тока через ноль с учетом специфики инженерного расчета,

т.е. аналитическим выводом одной кривой отслеживания динамики процессах [7].

Под руководством С. Л. Буянтуева были разработаны и внедрены плазменные технологии безмазутной растопки котлов на ряде ТЭС России (Гусинозерская ГРЭС, Нюрингринская ГРЭС, Партизанская ГРЭС и др.) и Монголии (Улан-Баторская ТЭЦ-4, Дарханская ТЭЦ, ТЭЦ ГОК Эрдэнэт). По результатам исследования в 1999 г. Ендонгомбо Г. защитил кандидатскую диссертацию «Безмазутная технология растопки котлов с использованием систем плазменного воспламенения топлива. На примере котлоагрегата БКЗ-420-140-10С Улан-Баторской ТЭЦ-4». Безмазутная технология растопки котлов дала экономию мазута более 12 000 т/год или около 250 000 долларов США/год на тот период. Профессор Буянтуев организовал исследование плазменной газификации углей Баганурского месторождения Монголии и продемонстрировал, что из этих углей можно получить синтез-газ, синтетическое жидкое топливо, активированный уголь. Совместно с монгольской компанией «Мегаватт» разработал малогабаритную модульную плазменную технологию газификации углей для сжигания полученного синтез-газа в топках котлов малой мощности, а также для сжигания экологически чистого синтез-газа для обогрева юрты, что имеет большое значение для условий Монголии.

При Бурятском государственном университете в 2001 г. Сергей Лубсанович создал научную лабораторию «Физика плазмы и плазменные технологии». В настоящее время заведующим лабораторией является его ученик, докторант, кандидат технических наук Анатолий Сергеевич Кондратенко.

Анатолий Сергеевич защитил диссертацию по теме «Теплоизоляционные материалы волокнистой структуры из базальта и золошлаковых отходов, полученные с использованием электромагнитного реактора» в 2013 г. Результаты исследования:

- «Разработана энергосберегающая технология получения минеральных волокнистых материалов при существенном снижении энергозатрат по сравнению с существующими технологиями.
- Создан электромагнитный реактор, который дает возможность плавного регулирования температуры, вязкости, перемешивания расплава во время плавления, что позволяет добиться хорошей текучести расплава, и снижает инерционность процесса.
- Подготовлена технология получения минеральных волокон из базальта и золошлаковых отходов при обработке сырьевых материалов в электромагнитном реакторе.
- Полученные результаты могут быть применены при строительстве заводов по производству теплоизоляционных материалов» [4, с. 6].

В 2002 г. Надежда Васильевна Былкова защитила диссертацию «Строительные материалы на основе местного сырья с защитно-декоративными покрытиями, обработанными низкотемпературной плазмой».

Валентина Дампиловна Сультимова в 2004 г. защитила диссертацию на тему «Теплоизоляционные материалы из золошлаковых отходов тепловых

электрических станций, полученные с применением низкотемпературной плазмы». Разработанная технология получения теплоизоляционных материалов путем плавления золошлаков низкотемпературной плазмой позволяет утилизировать золошлаковые отходы, скапливающиеся в золоотвалах ТЭС. Разработан экономичный и экологически чистый метод производства минераловатной продукции [6, с. 5].

В 2007 г. Ананда Цыдыпович Дондоков представил к защите диссертацию «Теплоизоляционный материал волокнистой структуры из базальта, полученный с применением плазменно-дуговой обработки». «Цель работы: получение теплоизоляционных материалов волокнистой структуры из базальта Судунтуйского месторождения Читинской области с применением плазменно-дуговой обработки и исследование их свойств» [1, с. 4]. В итоге проведения научной работы была разработана энергосберегающая технология получения базальтоволокнистых материалов с высокими физико-химическими свойствами. Данная технология позволила снизить энергозатраты по сравнению с существующими технологиями в 2 раза. «Создан комплекс оригинального оборудования (двухкамерная плазменнодуговая печь, двухпостовой источник питания с переключением полярности электродов), который дает возможность плавного регулирования температуры, вязкости, текучести расплава равномерно по всему объему печи и позволяет снизить инерционность процесса и энергозатраты по сравнению с традиционными технологиями при сохранении требуемого по ГОСТ качества волокна. Полученные результаты были использованы при строительстве завода «Тезолит» по производству теплоизоляционных материалов в п. Агинское Читинской области» [1, с.5], а также завода «Байкальский базальт» в г. Гусиноозерск Республики Бурятия.

В 2007 г. защитил диссертацию аспирант Иван Васильевич Старинский. Тема его диссертации «Сорбционные свойства и структура углей, прошедших обработку в низкотемпературной плазме». Целью работы являлось исследование процессов активирования угля при воздействии низкотемпературной плазмы и разработка технологии получения сорбентов на основе модульного малогабаритного плазменного реактора совмещенного типа в рамках комплексной переработки угля с выделением летучих компонентов [5, с.4]. Данная тема была включена в республиканскую целевую программу энергосбережения Республики Бурятия на 2006-2007 г. В процессе исследования были разработаны технология получения активированного угля и конструкция модульного плазменного реактора, которые позволят значительно сократить время получения угольных сорбентов и снизить энергетические затраты по сравнению с традиционными технологиями пиролиза углей. Модульный принцип пиролиза с плазменной ступенью продемонстрировал возможность, в случае необходимости, увеличить производительность установки при низкой металлоемкости и энергозатратах. Было обосновано, что разработанная модульная установка может служить основой для создания промышленных установок по комплексной переработке угля в низкотемпературной плазме [5, с.5]. В настоящее время Старинский возглавляет научную ла-

бораторию «Плазменные и энергетические технологии» ВСГУТУ, созданную профессором Буянтуевым.

Станислав Юрьевич Шишулькин в 2009 г. защитил диссертацию по теме «Плазменно-термическая подготовка твердых топлив к сжиганию на основе модульной двухступенчатой установки». Шишулькин провел анализ состояния отопительных котлов, расположенных на территории города Улан-Удэ и Республики Бурятия. В результате были выбраны котлы малой мощности марки «Братск» и «Универсал» и произведена оценка возможности их оборудования системой плазменно-термической подготовки угля к сжиганию, установлена возможность применения плазменно-энергетических технологий для повышения реакционной способности сжигаемых в них углей и экологических показателей данных котлов. На основании теоретических исследований были определены геометрические размеры модульной двухступенчатой установки по плазменно-термической подготовке угля к сжиганию. Исследованы процессы плазменно-термической подготовки Тугнуйского, Баганурского и Урейского углей, протекающие при работе установки в двухступенчатом режиме. Разработаны технология и система плазменно-термической подготовки твердых топлив к сжиганию на основе модульной плазменной двухступенчатой установки в виде приставки к отопительным котлам малой и средней мощности [10, с. 4].

Геннадий Борисович Зонхоев в 2011 г. защитил диссертацию «Повышение эффективности топливоиспользования и экологических показателей пылеугольных потоков электростанций с применением модифицированных плазменных горелок». В итоге исследования разработаны модифицированные прямоточные плазменные горелки с высокой степенью завершенности электротермохимической подготовки топлива в них и уменьшенными массогабаритными показателями. Впервые предложены математические модели перехода азотсодержащих соединений топлива в МППГ в молекулярный азот с оценкой возможности его осуществления на основе изменения энергии Гиббса в диапазоне температур 1000-1300 К в виде цепочечной схемы развития газофазных реакций. Получены критерии оптимизации для выбора конструктивных параметров модифицированных плазменных горелок на основе расчета термодинамических показателей, характеризующие эффективность электротермохимической подготовки топлива. Разработан универсальный алгоритм автоматизированной системы управления безмазутным розжигом и подсветкой факела (АСУ БПР ПФ) [2, с.5-6].

Шаронов Константин Сергеевич в 2012 г. защитил диссертацию по теме «Теплофизические параметры процесса плазменной переработки углей». «Научная новизна работы: 1. Получены новые результаты расчетно-теоретических и экспериментальных исследований переработки окиноключевского и адунчулунского углей в плазменной установке (температура, удельные энергозатраты на процесс газификации). 2. Предложен новый - с применением низкотемпературной плазмы - способ исключения ядовитых веществ из состава синтез-газа, получаемого традиционными методами газификации» [9, с.5].

В 2013 г. С. Л. Буянтуевым создана научная лаборатория «Плазменные и энергетические технологии» ВСГУТУ. Цель создания научной лаборатории: повышение качества подготовки бакалавров, магистрантов, научно-педагогических кадров и результативности научных исследований по приоритетному направлению университета «Энергетика и энергосбережение». По направлениям работы научной лаборатории был создан студенческий научный кружок «Электротехнологические плазменные установки».

В 2017 г. Хмелев Андрей Борисович представил к защите диссертацию на тему «Бетоны с модифицирующими добавками, полученными в электродуговой плазме». Научная новизна данной работы: «1) Разработаны новые принципы и технологии получения углеродных наноматериалов с использованием электродуговой плазмы для введения в бетоны и повышения их физико-механических и эксплуатационных свойств. 2) Разработаны плазменная установка для получения диспергированной добавки с углеродными наноматериалами в газе путем испарения углерода в электродуговой плазме и в воде путем закалки высокодисперсных углеродсодержащих частиц, и электроразрядная установка для получения седиментационно устойчивой и высокодисперсной суспензии из угольного кека с целью равномерного распределения углеродных наноматериалов в бетоне» [8, с.4-5].

Руководство аспирантами Чан Фонг Лыу и А. А. Москвитин перешло к С. Ю. Шишулькину, аспирантом В. Т. Буянтуев – А. С. Кондратенко (ученикам профессора Буянтуева).

В лабораториях успешно занимались научно-исследовательской работой студенты, магистранты, аспиранты и молодые ученые – кандидаты технических наук, ученики профессора С. Л. Буянтуева. Проводился широкий спектр фундаментальных и прикладных научно-исследовательских работ по изучению физики электроразрядных процессов, применению этих процессов в различных отраслях науки и техники, разработке новых аппаратов, технологий и материалов. С. Л. Буянтуев в течение многих лет продвигал идеи и новые энергосберегающие и экологически чистые технологии комплексной плазменной переработки углей для получения горючего газа, активированного угля (полукокса), синтетического жидкого топлива и углеродных наноматериалов; технологии плазменной переработки бытовых и медицинских отходов. Достижения научной школы профессора С. Л. Буянтуева регулярно демонстрировались на международных, всероссийских и республиканских выставках и награждались медалями и дипломами. Новые плазменные технологии, разработанные С. Л. Буянтуевым и его учениками, были включены в каталоги инновационных проектов г. Улан-Удэ и Республики Бурятия. Между лабораторией «Плазменные и энергетические технологии» ВСГУТУ и «Плазменным центром» Даляньского политехнического университета (КНР) с 1991 г. осуществлялось плодотворное сотрудничество в области научных исследований и подготовки научно-педагогических кадров. Проведенный анализ показывает, что актуальность исследований научной школы С. Л. Буянтуева сохраняется и в настоящее время.

Литература

1. Дондоков А. Ц. Теплоизоляционный материал волокнистой структуры из базальта, полученный с применением плазменнодуговой обработки: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Улан-Удэ, 2007.
2. Зонхоев Г. Б. Повышение эффективности топливоиспользования и экологических показателей пылеугольных потоков электростанций с применением модифицированных плазменных горелок: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Улан-Удэ, 2011.
3. Карпенко Е.И. Комплексное использование плазменных методов переработки и интенсификации горения энергетических топлив: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Новосибирск, 1992.
4. Кондратенко А. С. Теплоизоляционные материалы волокнистой структуры из базальта и золошлаковых отходов, полученные с использованием электромагнитного реактора: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.05 - Строительные материалы и изделия. Улан-Удэ, 2013.
5. Старинский И. В. Сорбционные свойства и структура углей, прошедших обработку в низкотемпературной плазме: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Улан-Удэ, 2007.
6. Сульtimiова В. Д. Теплоизоляционные материалы из золошлаковых станций, полученные с применением низкотемпературной плазмы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Улан-Удэ, 2004.
7. Ханхасаев В. Н. Математическое моделирование процесса гашения электрической дуги с помощью неклассических уравнений математической физики: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Новосибирск, 1996.
8. Хмелев А. Б. Бетоны с модифицирующими добавками, полученными в электродуговой плазме: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.05 - Строительные материалы и изделия. Улан-Удэ, 2017.
9. Шаронов К. С. Теплофизические параметры процесса плазменной переработки углей: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Улан-Удэ, 2012.
10. Шишулькин С. Ю. Плазменно-термическая подготовка твердых топлив к сжиганию на основе модульной двухступенчатой установки: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Улан-Удэ, 2009.

PROFESSOR S. L. BUYANTUEV'S SCIENTIFIC SCHOOL

Dari Sh. Tsyrendorzhieva

Doctor of Sciences in Philosophy, Professor,
Banzarov Buryat State University
24a Smolina Street, Ulan-Ude 670000, Russia
dari145@mail.ru

Abstract. The article presents the results of the research activities of the scientific school of Sergey Lubsanovich Buyantuev, Doctor of Sciences in Engineering, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Mongolia, Honored Scientist of the Republic of Buryatia, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Honored Worker of Higher School of the Russian Federation, and Honorary Citizen of the Selenga District of the Republic of Buryatia. Professor S. L. Buyantuev is the author of more than 500 scientific publications and 39 patents of the Russian Federation, and the head of 11 research areas: plasma-energy processes and technologies; development of methods and means for saving electricity; disposal of municipal and medical waste, etc. The article presents the main activities of the scientific school and reveals the theoretical provisions that constitute the novelty of the dissertation works of postgraduate students and applicants. Sergey Lubsanovich is a renowned scientist both in Russia and abroad.

Keywords: Sergey Lubsanovich Buyantuev, plasma technology, plasma physics, oil-free boiler ignition technology, disposal of municipal and medical waste.

Научная статья
УДК 001.89:533.9:691
DOI 10/18101/978-5-9793-2065-6-11-15

ВКЛАД ПРОФЕССОРА С. Л. БУЯНТУЕВА В РАЗВИТИЕ СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

© **Заяханов Михаил Егорович**

доктор технических наук, профессор,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В
zayakhanov@mail.ru

© **Урханова Лариса Алексеевна**

доктор технических наук, профессор,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В

Национальный исследовательский Московский государственный
строительный институт
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26
urkhanova@mail.ru

© **Лхасаранов Солбон Александрович**

кандидат технических наук, заведующий кафедрой,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В
solbon230187@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена памяти профессора доктора технических наук С. Л. Буянтуева в связи с 80-летием со дня рождения, внесшего большой вклад в развитие строительной науки и использование плазменной технологии для производства строительных материалов и изделий. Рассмотрены основные направления исследований в области строительного материаловедения, которыми занимался Буянтуев С. Л. совместно со своими учениками и коллегами. Направления исследований включают вопросы получения различных строительных материалов: теплоизоляционных материалов, полученных при использовании базальтов и золошлаковых материалов, цементных бетонов, модифицированных дисперсной фиброй и углеродным наноматериалами, асфальтобетоны, модифицированные углеродными наноматериалами, электропроводящие бетоны, гидроизоляционные полимерные материалы. Показан опыт совместного участия лаборатории «Плазменные и энергетические технологии» и кафедры «Строительные материалы, автомобильные дороги и деревообработка» в научно-исследовательских работах и грантах.

Ключевые слова: строительное материаловедение, низкотемпературная плазма, теплоизоляционные материалы, базальт, золошлаковая смесь, золошлаковые отходы, минеральное волокно, углеродные наноматериалы

Профессор Буянтуев Сергей Лубсанович внес значительный вклад в развитие строительного материаловедения и использование плазменной технологии для производства строительных материалов и изделий. По результатам научных разработок им опубликовано большое количество научных статей по применению низкотемпературной плазмы для получения теплоизоляционных строительных материалов из минерального сырья Республики Бурятия и золошлаковых отходов тепловых электрических станций, разработке физико-химических основ применения низкотемпературной плазмы для получения строительных материалов с высокими эксплуатационными характеристиками на основе нетрадиционного сырья, в том числе монографии (применение низкотемпературной плазмы для получения волокнистых теплоизоляционных материалов из золошлаковых отходов тепловых электрических станций, строительные материалы на основе местного сырья с защитно-декоративными покрытиями, полученными при обработке низкотемпературной плазмой) [1, с. 1, 2, с. 1], а также им получены авторские свидетельства и патенты (способ получения минеральной ваты, сырьевая смесь для высокопрочного бетона, состав смеси для асфальтобетона, сырьевая смесь для высокопрочного фибробетона) [3-9, с. 1].

Под его руководством сотрудниками и аспирантами университета защищено 5 кандидатских диссертаций по специальности 05.23.05-Строительные материалы и изделия в диссертационном совете при ВСГУТУ членом которого он состоял многие годы (ныне работающие на электротехническом факультете: Былкова Н. В., Сульtimiова В. Д., Хаглеев А. Н., в Забайкальском крае - Дондоков А. Ц.- и в Бурятском государственном университете им Д. Банзарова - Кондратенко А. С.).

Профессор Буянтуев С. Л. плодотворно работал с сотрудниками строительного факультета профессорами Цыремпиловым А. Д., Урхановой Л. А., Дамдиновой Д. Р., Хардаевым П. К., Заяхановым М. Е., доцентом Лхасарановым С. А., Шестаковым Н. И. и др. с которыми он провел многие совместные исследования по использованию плазменных технологий для производства строительных материалов и изделий, в т.ч. наноматериалов и нанотехнологий.

Продуктивная совместная работа лаборатории «Плазменные и энергетические технологии», которую возглавлял Буянтуев С. Л., с кафедрой «Строительные материалы, автомобильные дороги и деревообработка» (СМАДиД) многие годы проявлялась в участии и выполнении грантов, проводимых Минобрнауки России по темам «Исследование и разработка энерго- и ресурсосберегающих технологий для объектов энергетики, стройиндустрии и жилищно-коммунального хозяйства», «Получение новых композиционных материалов из расплавов горных пород и золошлаковых отходов в плазменно-дуговом реакторе и исследование их физико-технических и эксплуатационных свойств», «Инновационные ресурсо- и энергосберегающие технологии с применением плазменно-энергетических процессов и технологий», Российским фондом фундаментальных исследований по теме «Создание новых ресурсо- и энергосберегающих технологий переработки минерального сырья и

золошлаковых отходов с использованием плазменно-энергетических процессов для получения композитных строительных материалов», Советом по грантам Президента Российской Федерации по теме «Исследование и разработка плазменных технологий комплексной переработки угля, плавки горных пород и золошлаковых отходов для получения новых композиционных материалов с минимальными энерго- и ресурсозатратами», Фондом содействия инновациям по теме «Исследование возможности получения высокопрочного фибробетона с использованием минеральных волокон и нанокремнезема и разработка технологии его производства».

Результатом совместной работы при выполнении грантов послужили защиты кандидатских диссертаций аспирантов и соискателей кафедры СМА-ДиД Шестакова Н. И. (Модифицированный асфальтобетон с углеродными нанодобавками) и Розиной В. Е. (Мелкозернистый базальтофибробетон с нанокремнеземом).

В результате выполнения грантов и проведения совместных научно-исследовательских работ были получены следующие результаты:

- оптимизированы технологические режимы работы плазменно-энергетических установок с целью получения материалов различного функционального назначения из природного и техногенного сырья и определение рациональных областей их применения;

- разработана модель получения композитов с использованием материалов различного состава и структуры, полученных в плазменно-энергетических установках;

- проведены исследования структуры и фазового состава материалов различного функционального назначения, полученных с применением плазменно-энергетических процессов и технологий: продуктов комплексной переработки угля, неорганических волокон, УНМ;

- исследована структура и фазовый состав композитных строительных и дорожно-строительных материалов, определение их влияния на улучшение физико-механических, эксплуатационных и специальных свойств.

Совместные научные исследования между лабораторией «Плазменные и энергетические технологии» и кафедрой СМАДиД продолжаются в настоящее время. В 2025 году в рамках выполнения стратегического технологического проекта «Экоуниверситет» программы «Приоритет» реализуется технологический проект «Плазменная технология переработки золошлаковых отходов».

Литература

1. Буянтуев С. Л., Сульtimiова В. Д. Применение низкотемпературной плазмы для получения волокнистых теплоизоляционных материалов из золошлаковых отходов тепловых электрических станций. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2010. 132 с.

2. Буянтуев С. Л., Былкова Н. В. Строительные материалы на основе местного сырья с защитно-декоративными покрытиями, полученными при обработке низкотемпературной плазмой. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2010. 115 с.

3. Плазменный способ получения минеральной ваты из золошлаковых отходов мусоросжигательных заводов и установка для его осуществления / С. Л. Буянтуев, С. Ю. Шишулькин, А. В. Малых, А. А. Иванов, В. В. Педынин. Патент на изобретение RU 2764506 C1, 18.01.2022. Заявка № 2020136272 от 03.11.2020.

4. Сырьевая смесь для электропроводного бетона / Л. А. Урханова, С. А. Лхасаранов, А. А. Урханова, С. Л. Буянтуев. Патент на изобретение RU 2764610 C1, 18.01.2022. Заявка № 2020125982 от 29.07.2020.

5. Установка для модификации поверхности полимеров в низкотемпературной плазме тлеющего разряда / А. Н. Хаглеев, М. А. Мокеев, С. Л. Буянтуев, Д. М. Могнонов, Л. А. Урханова, О. Ж. Аюрова. Патент на изобретение RU 2751348 C2, 13.07.2021. Заявка № 2019143382 от 19.12.2019.

6. Урханова Л. А., Шестаков Н. И., Буянтуев С. Л. Состав смеси для асфальтобетона / Патент на изобретение RU 2561435 C1, 27.08.2015. Заявка № 2014144776/03 от 05.11.2014.

7. Урханова Л. А., Лхасаранов С. А., Розина В. Е., Буянтуев С. Л., Бардаханов С. П. Сырьевая смесь для высокопрочного фибробетона / Патент на изобретение RU 2569140 C1, 20.11.2015. Заявка № 2014141183/03 от 13.10.2014.

8. Буянтуев С. Л., Кондратенко А. С., Дамдинов Б. Б. Способ получения углеродных наноматериалов с помощью энергии низкотемпературной плазмы и установка для его осуществления / Патент на изобретение RU 2488984 C2, 27.07.2013. Заявка № 2011106679/07 от 22.02.2011.

9. Урханова Л. А., Буянтуев С. Л., Лхасаранов С. А., Кондратенко А. С. Сырьевая смесь для высокопрочного бетона / Патент на изобретение RU 2466110 C1, 10.11.2012. Заявка № 2011125450/03 от 20.06.2011.

CONTRIBUTION OF PROFESSOR BUYANTUEV S.L. TO THE DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION MATERIAL SCIENCE

Mikhail E. Zayakhanov

Doctor of Technical Sciences, Professor,
East Siberian State University of Technology and Management
40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia
zayakhanov@mail.ru

Larisa A. Urkhanova

Doctor of Technical Sciences, Professor,
East Siberian State University of Technology and Management
40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia

National Research Moscow State Civil Engineering Institute,
26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russia,
urkhanova@mail.ru

Solbon A. Lkhasaranov

PhD in Engineering, Associate Professor, Head of Department
East Siberian State University of Technology and Management
40V st. Klyuchevskaya, Ulan-Ude, 670013, Russia
solbon230187@mail.ru

Abstract. The article is dedicated to the memory of Professor, Doctor of Technical Sciences Buyantuev S.L. on the occasion of his 80th birthday, who made a great contribution to the development of construction science and the use of plasma technology for the production of building materials and products. The main directions of research in the field of construction materials science, which were carried out by Buyantuev S.L. together with his students and colleagues, are considered. Research areas include issues of obtaining various building materials: thermal insulation materials obtained using basalts and ash and slag materials, cement concretes modified with dispersed fiber and carbon nanomaterials, asphalt concretes modified with carbon nanomaterials, electrically conductive concretes, waterproofing polymer materials. The experience of joint participation of the Plasma and Energy Technologies laboratory and the Construction Materials, Highways and Woodworking Department in research projects and grants is shown.

Key words: construction materials science, low-temperature plasma, thermal insulation materials, basalt, ash and slag mixture, ash and slag waste, mineral fiber, carbon nanomaterials

Научная статья
УДК 532.527.2
DOI 10/18101/978-5-9793-2065-6-16-19

ВАЛИДАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЛАЗМЕННОЙ СИСТЕМЫ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ТОПЛИВА, УЧИТЫВАЮЩЕЙ ДИНАМИКУ ЧАСТИЦ ПЫЛИ

© **Батухтин Андрей Геннадьевич**
доктор технических наук, профессор,
batuhtina_ir@mail.ru

© **Батухтин Сергей Геннадьевич**
кандидат технических наук, доцент
batuhtin1@mail.ru

© **Рудой Валерий Игоревич**
ассистент,
valera_rud_99@mail.ru

© **Яковлева Ольга Петровна**
стажер-исследователь,
yakovlevaop1@mail.ru

Забайкальский государственный университет,
Россия, 672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, д. 30

Аннотация. В представленной работе исследуется проблема валидации численных моделей движения дисперсной фазы в газовом потоке, акцентируется внимание на граничном условии, описывающем взаимодействие частиц со стенками канала. Предложен итерационный метод оценки коэффициента восстановления, характеризующего потерю импульса при столкновении угольных частиц со стенками плазмотрона. Экспериментальная часть исследования включает визуализацию движения частиц угольной пыли в прозрачном канале с использованием высокоскоростной камеры. Параллельно проводится численное моделирование с использованием метода конечных элементов, позволяющее определить траектории движения частиц при различных значениях коэффициента восстановления. Сопоставление экспериментальных и численных результатов позволяет установить значение коэффициента восстановления, обеспечивающее удовлетворительное соответствие между физической и математической моделями. Данный подход позволяет определить опорные значения коэффициента восстановления для первичной валидации сложных моделей аэродинамики многофазных потоков, минимизируя вычислительные затраты. Полученные результаты имеют значение для разработки и оптимизации плазменно-циклонных топливных систем, в которых прецизионное моделирование движения частиц играет ключевую роль в обеспечении эффективного смесеобразования и сжигания топлива.

Ключевые слова: численное моделирование, экспериментальная валидация, столкновение частиц, коэффициент восстановления, эйлерово-лагранжевый подход, итерационный метод, многофазный поток.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 123102000012-2 Комплексное исследование аэродинамических характеристик плазменных систем термохимической подготовки топлива, соглашение № 075-03-2023-028/1 от 05.10.2023 г.).

Валидация моделей движения дисперсной фазы в газовом потоке, основанных на эйлерово-лагранжевом подходе, требует учета граничного условия, определяющего взаимодействие частиц со стенками канала [1, с. 89], а именно – “отражения” частиц с частичной потерей импульса в результате столкновения.

Потеря импульса при ударе характеризуется коэффициентом восстановления k , определенным для нормальной и тангенциальной составляющих. Нормальный коэффициент восстановления (k_n) определяет долю импульса, сохраняемую частицей в направлении, перпендикулярном поверхности стенки, после столкновения. Аналогично, тангенциальный коэффициент восстановления (k_t) определяет долю импульса, сохраняемую частицей в направлении, касательном к поверхности стенки.

Коэффициент восстановления варьируется в диапазоне от 0 до 1, где 0 соответствует полной диссипации импульса при столкновении (абсолютно неупругий удар), а 1 – абсолютно упругому столкновению.

Моделирование движения реальных частиц угольной пыли, обладающих сложной геометрией, в цилиндрических каналах плазмотронов при развитом турбулентном течении пылевоздушной смеси представляет собой нетривиальную задачу [2, с. 69], что обуславливает сложность экспериментального определения коэффициентов восстановления.

В таких условиях валидация модели реализуется посредством итерационного сопоставления визуализаций движения частиц, полученных экспериментальным и численным путем. В ходе активного эксперимента по определению коэффициентов восстановления с использованием высокоскоростной камеры был получен кадр движения частиц угольной пыли со средним диаметром 1000 ± 100 мкм в прозрачном канале диаметром 52 мм при средней скорости потока воздуха 12,8 м/с, с подачей пыли перпендикулярно основному потоку. На основе полученных изображений реконструированы траектории движения частиц.

Для численного моделирования создана расчетная область, геометрически идентичная экспериментальному стенду, и дискретизирована на основе метода конечных элементов для решения дифференциальных уравнений, описывающих характеристики многофазного течения.

Итерационное изменение коэффициента восстановления k в численном решателе позволило получить визуализацию траектории частиц, удовлетворительно согласующуюся с экспериментальными данными при $k = 0,8$. Сравнение отдельных траекторий, выделенных из экспериментальных и числен-

ных данных, демонстрирует достаточно высокую степень соответствия результатов.

Предложенный подход позволяет определить опорные значения коэффициента восстановления k для первичной оценки параметров более сложных моделей, минимизируя временные затраты на валидацию аэродинамических характеристик.

Литература

1. Фундаментальные проблемы моделирования турбулентных и двухфазных течений: в 2 томах / под редакцией А. А. Саркисова, Г. А. Филиппова. Москва: Наука, 2010. Т. 2. Численное моделирование. 368 с.

2. Анохина Е. С., Шторк С. И., Алексеенко С. В. Экспериментальное и численное моделирование стационарных вихревых структур // Современная наука: сборник научных статей. 2012. Т. 10, № 2. С. 68-72.

VALIDATION OF RECOVERY COEFFICIENTS FOR THE MATHEMATICAL MODEL OF THE PLASMA SYSTEM OF THERMOCHEMICAL FUEL TREATMENT, TAKING INTO ACCOUNT THE DYNAMICS OF DUST PARTICLES

Andrey G. Batukhtin

doctor of engineering sciences, professor,
batuhtina_ir@mail.ru

Sergey G. Batukhtin

candidate of engineering sciences, associate professor,
batuhtin1@mail.ru

Valery I. Rudoy

assistant,
valera_rud_99@mail.ru

Olga P. Yakovleva

research intern,
yakovlevaop1@mail.ru

Transbaikal State University,
30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, 672039, Russia

Abstract. In the presented study the problem of validation of numerical models of dispersed phase motion in a gas flow is investigated, focusing on the boundary condition describing the interaction of particles with the channel walls. An iterative method for estimating the recovery coefficient characterizing the momentum loss when coal particles collide with the walls of the plasmatron is proposed. The experimental part of the study includes visualization of the motion of coal dust particles in a transparent channel using a high-speed camera. In parallel,

numerical modeling using the finite element method is carried out to determine the trajectories of particle motion at different values of the recovery factor. Comparison of experimental and numerical results allows us to establish a value of the recovery factor that provides a satisfactory correspondence between the physical and mathematical models. This approach allows us to determine the reference values of the recovery coefficient for the initial validation of complex models of multiphase flow aerodynamics, minimizing computational costs. The results obtained are of importance for the development and optimization of plasma-cyclone fuel systems, in which precision modeling of particle motion plays a key role in ensuring efficient fuel mixing and combustion.

Keywords: Numerical modeling, experimental validation, particle collision, recovery factor, Euler-Lagrangian approach, iterative method, multiphase flow.

Acknowledgments: This work was supported by the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. 123102000012-2, "Comprehensive Study of the Aerodynamic Characteristics of Plasma Systems for Thermochemical Fuel Preparation," Agreement No. 075-03-2023-028/1 of October 5, 2023).

Научная статья
УДК 004.89
DOI 10/18101/978-5-9793-2065-6-20-24

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИН ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПО ФОТОСНИМКАМ

© **Батухтин Андрей Геннадьевич**
доктор технических наук, профессор
batuhtina_ir@mail.ru

© **Коган Евгения Семеновна**
кандидат физико-математических наук, доцент
eskogan@mail.ru

© **Палкин Георгий Александрович**
кандидат технических наук, доцент
Pala88@yandex.ru

© **Лягоцкий Максим Владимирович**
Магистрант
maxim7003@gmail.com

Забайкальский государственный университет,
Россия, 672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30

Аннотация. В данной работе рассматривается идея решения задачи скоростного анализа высокотемпературного поля по фото снимкам, основанная на интерпретации человеческих эмоций как математической модели.

Ключевые слова: скоростная видеосъемка, алгоритм, нейронная сеть, высокотемпературные процессы, эмоции человека

Задача анализа высокотемпературного поля решается. Существуют различные подходы для анализа полученных фотографий высокотемпературных процессов, но скорость обрабатываемых алгоритмов достаточно медленная [1]. Если поставить задачу анализа высокотемпературного процесса в реальном времени с целью обнаружить или предсказать какое-то событие, всплеск температуры, то существующие алгоритмы не справятся с этой задачей, либо их точность будет очень низкой.

Есть предположение, что эту задачу смогла бы решить система, основанная на модели человеческих эмоций.

Если абстрагироваться от реальности и представить человеческие эмоции в чистом виде, то состояние человека в конкретный момент времени можно описать некоторым количеством эмоций. Однако такое описание не дает нам четкого понимания выраженности эмоции, реальных ощущений человека. А

что, если пойти дальше и попробовать разложить этот список эмоций на их составные части.

Такие психологи как Пол Экман, Роберт Плутчик и Кэррол Иззард занимались подобными исследованиями и выделяли от 6 до 10 базовых эмоций. Более сложные эмоции они строили по принципу сочетания одной эмоции с другой. К примеру, Предвкушение = радость + интерес ± удивление [2-5].

Возьмем эту теорию за основу и интерпретируем ее как модель оценки не эмоционального состояния человека, а модель состояния некоторой прикладной технической системы. То, что являлось базовыми эмоциями, опишем как некоторый фактор системы и назовем их узлами. Пусть у каждого узла модели будет некоторое значение, которое определяет, как сильно он выражен в системе. Тогда для определения сложного состояния будет оцениваться выраженность одного из базовых узлов, например, значением от 0 до 10.

Теперь, из полученного набора инструментов, попробуем описать модель. У нас есть система, состояние которой в момент времени t_1 можно описать вектором из 10 значений – выраженности базовых узлов, для примера приведем его как $\langle 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1 \rangle$. Имея такой вектор в момент времени t , можно сделать вывод, в каком состоянии сейчас находится система.

Далее, мы используем на системе какой-то раздражитель. Опишем его вектором $\langle 0,0,0,1,-1,1,2,0,0,0 \rangle$. Тогда состояние системы в момент t_2 будет $\langle 1,1,1,2,0,2,3,1,1,1 \rangle$.

Исходя из этого, модель позволяет оценить состояние системы в конкретный момент времени, влиять на это состояние человека и отслеживать тенденцию его изменения.

Попробуем усложнить модель. Для начала заменим целочисленные значения векторов, на числа с плавающей запятой, что позволит более точно определять состояние системы.

Теперь заменим условия сложных состояний. Будем оценивать не конкретные числа, а диапазоны значений. Так определение состояния будет работать точнее. Также, описание диапазонами позволяет нам взглянуть на состояние целиком, так что будем описывать сложные эмоции как вектор доступных диапазонов каждого из базовых узлов.

Еще изменим механизм влияния на состояние. Добавим в него прослойку, которая будет корректировать входящее влияние.

Для понимания логики этого механизма, рассмотрим его на примере человека. Например, если рассказать что-то грустное очень эмоциональному человеку с перепадами настроения, то эмоция грусти выразится значительно сильнее, чем у черствого человека. Это говорит о том, что одинаковый раздражитель может быть воспринят иначе, в зависимости от характера человека.

Назовем такие прослойки шаблонами и будем задавать их с помощью функций. Например, возьмем очень оптимистичного человека и опишем его

шаблон радости как $f(x)=e(t)+2x$. Значит влияние, которое окажет раздражающий фактор, будет в два раза сильнее.

С такой структурой модель описывает состояния точнее и может подстраиваться под различные внешние условия. Фактически, на базе такой модели можно будет изучать поведение системы при различном влиянии и внешних условиях. А значит, при создании алгоритма, который сможет на основе входящих данных генерировать входящий раздражитель, эта модель применима для моделирования всевозможных ситуаций.

Вот несколько вариантов использования такой модели.

Вариант 1. Возьмем некоторое состояние как нормальное состояние работы. Опишем еще несколько состояний, которые выражают определенные состояния системы, условно, поломка, перегрев, нехватка энергии и т.п. Таким образом, появляется возможность оценить состояние системы в конкретное время, изучить тенденции изменения состояния и реализовать систему оповещений.

Вариант 2. Установим состояние покоя, когда все эмоции равны нулю. Будем применять различные раздражители на систему, анализируя изменение состояния и приводя ее к различным всплескам. Получив большие объемы данных, можно использовать их для обучения системы предсказаний всплесков, каких-либо параметров системы.

Второй вариант может быть применен в рассматриваемой задаче.

Получив изображение с камеры, оно будет преобразовываться в вектор раздражителя, где каждый элемент будет состоять из двух параметров. Оба параметра описывают один цвет, который система будет интерпретировать как эмоцию. Первый параметр – это количество пикселей, соответствующих цвету. Второй параметр – средний оттенок этого цвета.

Полученные вектора будут отправляться в модель, и влиять на состояние системы, что позволит оценить состояние в текущий момент времени.

Полная съемка процесса с высокой частотой кадров даст очень точное описание системы в промежутке времени, что позволит определять сам момент всплеска и анализировать изменение состояния системы до него.

Чтобы увеличить точность работы такого подхода, нужно правильно определить выходные состояния, а точнее их диапазоны. Значения для диапазонов можно подобрать с использованием нейронной сети. Увеличение точности тут поможет четче определить границу начала и завершения всплеска.

Прогоняя большие объемы данных через эту модель, получится собрать датасет, который описывает поведение состояния системы в моменты влияния на нее.

Другими словами, использование модели позволяет в режиме реального времени, с помощью высокоскоростной камеры преобразовывать фотографии в цифровой вариант реального состояния системы и преобразовать это в статистику поведения системы.

За счет того, что внутри системы работают достаточно легкие по вычислительной нагрузке алгоритмы, такой подход получится достаточно

быстрым, что позволит оценивать состояние с минимальными задержками. Для достижения еще большей скорости, например, для предугадывания всплеска, на основе полученного датасета можно обучить нейросеть, решающую более узкую задачу.

Тогда, результирующая система состоит из 2 модулей, алгоритма преобразования фото в вектор раздражителя и обученную нейросеть, которая, по входящему потоку раздражителей, сможет выдавать вероятность всплеска в ближайшее время.

В итоге, предлагается новый подход к решению задачи анализа высокотемпературного поля по фотоснимкам, состоящий из следующих этапов:

- 1) Преобразование фотоснимка в вектор, описывающий количество и оттенки цветов;
- 2) Прогон полученного вектора через математическую модель, описывающую состояние системы в каждый момент времени и задающую правила влияния на нее извне;
- 3) Калибровка диапазонов значений для конечных состояний системы, с применением нейронной сети;
- 4) Сбор датасета описывающего поведение системы при различном влиянии;
- 5) Обучение нейронной сети под конкретную задачу анализа высокотемпературного поля;
- 6) Получение быстрой и точной системы для решения поставленной задачи анализа в режиме реального времени.

Литература

1. Скоростная видеосъемка и цифровая обработка изображений выхлопной струи модельного газогенератора на твердом топливе / Д. А. Ягодников, И. И. Хомяков, А. С. Бурков и др. // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. Вып. 4. С. 1-12.
2. Izard C. E. Basic Emotions, Relations Among Emotions, and Emotion-Cognition Relations. *Psychological Review*. 1992; 99(3): 561–565.
3. Plutchik R. The Nature of Emotions. *American Scientist*. 2001; 89(4): 344–350.
4. Ekman P. Universals and Cultural Differences in Facial Expressions of Emotion. In J. Cole (Ed.). *Nebraska Symposium on Motivation* Lincoln: University of Nebraska Press. 1972. V. 19. P. 207–283.
5. Ekman P., Friesen, W. V. Constants Across Cultures in the Face and Emotion. *Journal of Personality and Social Psychology*. 1971; 17(2): 124–129.

USING LEARNING MACHINE ALGORITHMS TO ANALYZE A HIGH-TEMPERATURE FIELD FROM PHOTOGRAPHS

Andrey G. Batukhtin

Doctor of Technical Sciences, Professor
batuhtina_ir@mail.ru

Evgeniya S. Kogan

Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor
eskogan@mail.ru

Georgy A. Palkin

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Pala88@yandex.ru

Maxim V. Lyagotsky

Master's student
maxim7003@gmail.com

Transbaikal State University,
30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, 672039, Russia

Abstract. In this paper, we consider the idea of solving the problem of high-speed analysis of a high-temperature field based on photographs, based on the interpretation of human emotions as a mathematical model.

Keywords: emotions, high-speed video recording, algorithm, neural network, high-temperature processes.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ И РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТВЕРДОГО ТЕЛА НА УПРУГОМ СТЕРЖНЕ

© **Хамханов Алдар Кимович**

преподаватель,

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В
msdos147@gmail.com

Аннотация. В статье представлен обзор механических систем, динамика которых описывается комбинированными математическими моделями, сочетающими сосредоточенные и распределенные параметры, для анализа твердого тела, закрепленного на упругом стержне. Стержень моделируется как непрерывная балка с распределенными параметрами, подчиняющаяся уравнению Эйлера-Бернулли, а твердое тело - как сосредоточенная масса и момент инерции, задаваемые через граничные условия. Подробно рассматриваются три примера применения: виброизолированные машины на промышленных фундаментах, судовые двигатели на виброизоляторах и микроэлектромеханические системы (MEMS), такие как акселерометры. Анализируются преимущества комбинированных моделей, включая высокую точность при учете распределенной динамики, и ограничения, такие как вычислительная сложность. Обсуждаются аналитические и численные методы решения, включая метод конечных элементов (МКЭ) и гибридные подходы. Статья подчеркивает значимость таких моделей для проектирования и оптимизации современных инженерных систем.

Ключевые слова: гибридная система дифференциальных уравнений, обыкновенные дифференциальные уравнения, уравнения в частных производных, балка Эйлера-Бернулли, твердое тело, виброизоляция.

Введение

Механическая система «твердое тело на упругом стержне» служит основой для множества инженерных приложений, включая микроэлектромеханические системы, робототехнику и задачи виброзащиты, применяемые к промышленным машинам и двигателям [1-2]. Такие системы при моделировании являются комбинированными, то есть содержат распределенные параметры для стержня (уравнение Эйлера-Бернулли) и сосредоточенные параметры для твердого тела (масса и момент инерции). Это приводит к сложностям при их изучении, поскольку такие модели включают обыкновенные дифференциальные уравнения (ОДУ) для сосредоточенных элементов и уравнения в частных производных (УЧП) для распределенных элементов. Обычно это требует применения численных методов, таких как метод конечных элементов, что увеличивает вычислительные затраты [3]. В связи с этим в работе [4]

был предложен аналитико-численный метод исследования данного типа систем.

В данной работе рассмотрим некоторые примеры инженерных задач, в которых возникают модели «твердое тело на упругом стержне».

1. Комбинированная модель

Основной идеей комбинированных моделей является объединение двух типов элементов в одной системе, например, таких как:

- распределенные элементы: это части системы, свойства которых изменяются непрерывно в пространстве и времени (например, упругий стержень или балка). Они описываются УЧП, учитывающими распределение массы, жесткости и демпфирования;
- сосредоточенные элементы: это дискретные элементы, такие как массы, пружины или демпферы, описываемые ОДУ, где параметры (масса, жесткость) сосредоточены в одной точке.

Преимущества комбинированных моделей заключаются в высокой точности описания динамики систем за счет учета распределенных (уравнение Эйлера-Бернулли) и сосредоточенных параметров, а также в универсальности, позволяющей моделировать разнообразные инженерные системы.

Примером такой системы может являться жестко закрепленная консольная балка с массой, прикрепленной через пружины (рис. 1).

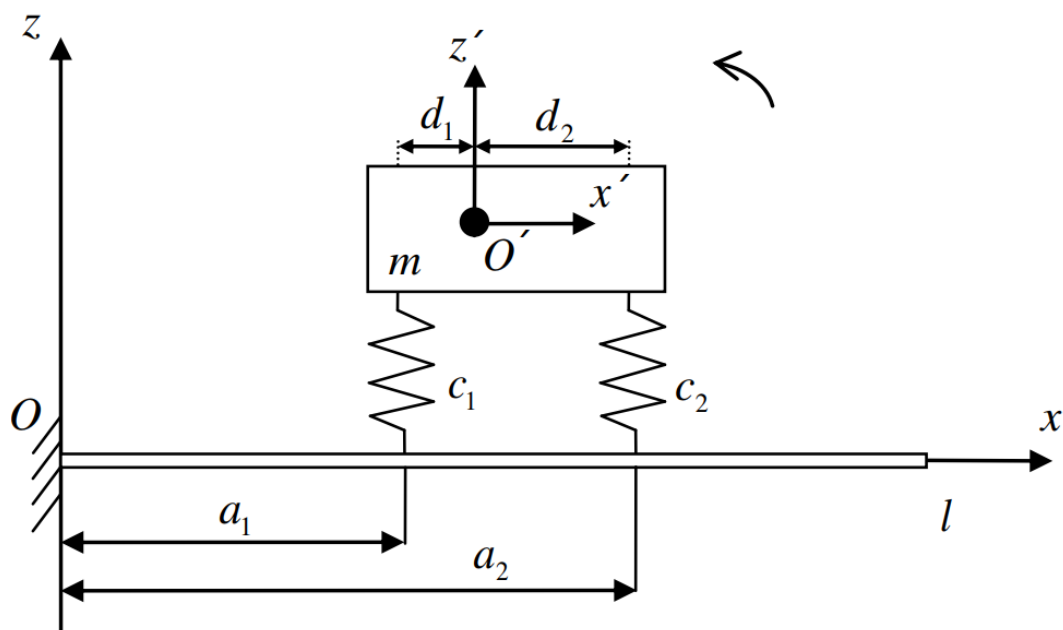


Рис. 1. Механическая система «твердое тело, прикрепленное с помощью двух пружин к стержню»

2. Механические системы, приводящие к комбинированным моделям

2.1. Виброизолированные машины на промышленных фундаментах.

Тяжелые машины, такие как прессы, компрессоры (рис. 2) или промышленные двигатели, устанавливаются на фундаментах с виброизоляторами (например, резиновые или пружинные подушки). Фундамент может быть смоделирован как балка или плита с распределенными параметрами (жест-

кость, масса), а машина — как сосредоточенная масса, соединенная с фундаментом через упругие элементы (пружины или демпферы).

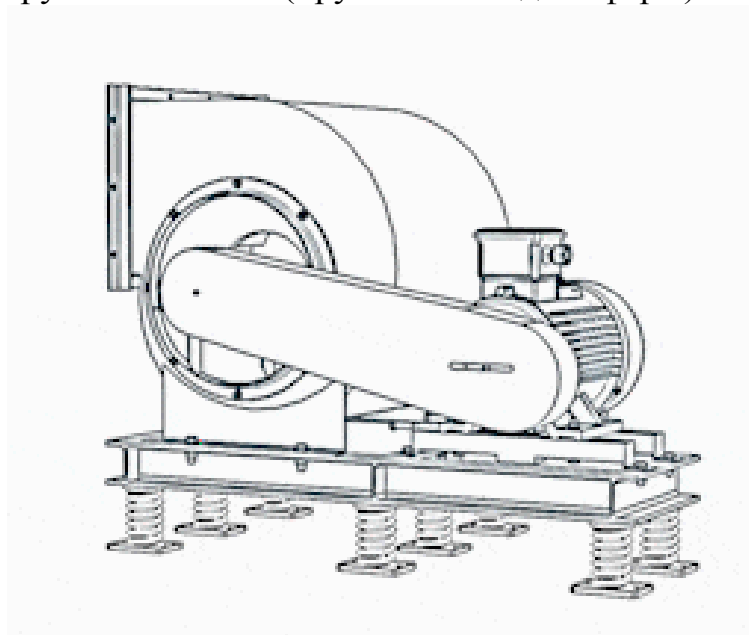


Рис. 2. Радиальный (центробежный) вентилятор с виброизоляторами.

Применяется в производственные цехах, где оборудование (например, штамповочные прессы, вентиляторы) создает значительные динамические нагрузки. Виброизоляция предотвращает передачу вибраций на окружающие конструкции и снижает шум.

2.2. Судовые двигатели на виброизоляторах.

Дизельные двигатели или турбины на кораблях устанавливаются на упругих основаниях для изоляции вибраций от корпуса судна (рисунок 3). Корпус судна или палуба выступает как элемент с распределенными параметрами, а двигатель — как сосредоточенная масса.

Применяется в судостроение (грузовые суда, яхты, военные корабли), где вибрации двигателя могут повлиять на комфорт экипажа, оборудование или целостность корпуса.

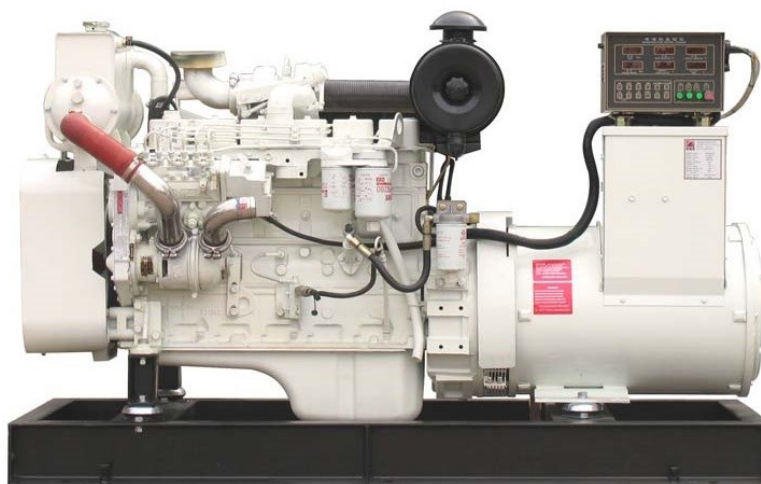


Рис. 3. Дизельный генератор Cummins 6B.

2.3. Микроэлектромеханические системы (MEMS).

Микроэлектромеханические системы, такие как акселерометры, состоят из сосредоточенной массы, подвешенной на упругих балках или мембранах, которые действуют как пружины. Эти системы используются для измерения ускорений.

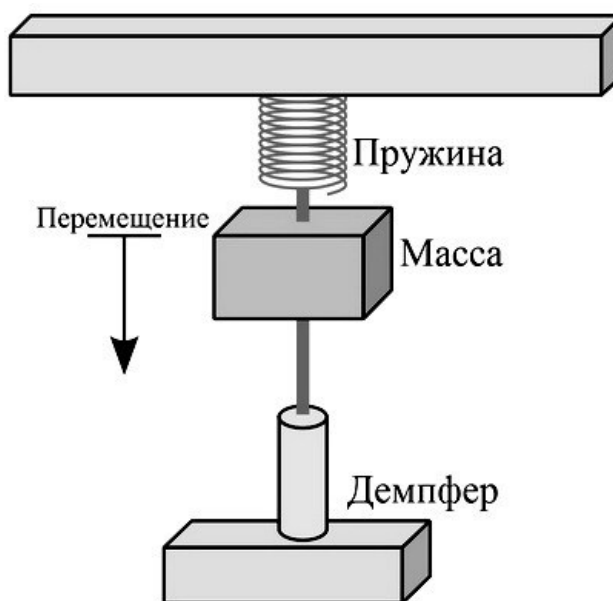


Рис. 4. Акселерометр.

Применяются в смартфонах, автомобильных системах (например, подушки безопасности), аэрокосмической технике.

3. Проблемы решения комбинированных моделей

Смешанный характер комбинированных моделей приводит к следующим сложностям:

- аналитические методы. Такие методы, как метод Галеркина или метод разделения переменных, применимы преимущественно к линейным системам с простыми геометрическими конфигурациями. Их использование для сложных нелинейных систем или реальных инженерных задач ограничено из-за необходимости упрощений;
- численные методы. Методы, такие как метод МКЭ, обладают высокой универсальностью, но требуют значительных вычислительных ресурсов и тщательной настройки параметров, что усложняет их применение в задачах реального времени;
- экспериментальные методы. Эксперименты обеспечивают высокую точность данных, однако их реализация связана с высокими затратами и ограничена конкретными условиями проведения.

Заключение

Механические системы с сосредоточенными и распределенными параметрами, такие как твердое тело на упругом стержне, имеют широкое применение при моделировании задач виброзащиты в промышленности, судостроении и MEMS. Их анализ осложнен необходимостью решения гибридных систем дифференциальных уравнений, включающих уравнения Эйлера–

Бернулли и ОДУ. Аналитико-численные методы, предложенные в [4], эффективно сочетают точность аналитических решений с гибкостью численных, таких как метод конечных элементов, обеспечивая универсальность моделирования. Разработка обобщенных математических моделей повышает точность и оптимизирует проектирование. Дальнейшие исследования в области этих методов расширят их применимость и эффективность инженерных решений.

Литература

1. Laura P. A. A., Susemihl E. A., Pombo J. L., Luisoni L. E., Gelos, R. On the Dynamic Behaviour of Structural Elements Carrying Elastically Mounted, Concentrated Masses. *Applied Acoustics*. 1977; 10(2): 121-133.
2. Ungar E. E., Amick H. Vibration Control Design of High-Technology Facilities. *Sound and Vibration*. 1999; 33(7): 20-27.
3. Cha P. D. Free vibrations of a uniform beam with multiple elastically mounted two-degree-of-freedom systems. *J. Sound Vibration*. 2007; 307; 1-2: 386–392.
4. Мижидон А. Д. Теоретические основы исследования одного класса гибридных систем дифференциальных уравнений // Математический анализ: Итоги науки и техники. Сер. Современная математика и ее приложения. Темат. обз. 2018. Т. 155. С. 38–64.

MECHANICAL SYSTEMS WITH LUMPS AND DISTRIBUTED PARAMETERS: MATHEMATICAL MODELING OF A RIGID BODY ON AN ELASTIC ROD

Aldar K. Khamkhanov

Teacher,

East Siberian State University of Technology and Management

40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia,

msdos147@gmail.com

Abstract: The paper presents an overview of mechanical systems whose dynamics are described by combined mathematical models combining lumped and distributed parameters for the analysis of a rigid body fixed on an elastic rod. The rod is modeled as a continuous beam with distributed parameters obeying the Euler-Bernoulli equation, and the rigid body is modeled as a lumped mass and moment of inertia specified through boundary conditions. Three application examples are considered in detail: vibration-isolated machines on industrial foundations, marine engines on vibration isolators, and microelectromechanical systems (MEMS) such as accelerometers. The advantages of hybrid models, including high accuracy in accounting for distributed dynamics, and limitations, such as computational complexity, are analyzed. Analytical and numerical solution methods, including the finite element method (FEM) and hybrid approaches, are discussed. The paper highlights the importance of such models for the design and optimization of modern engineering systems.

Keywords: hybrid system of differential equations, ordinary differential equations, partial differential equations, Euler–Bernoulli beam, rigid body, vibration isolation.

Научная статья
УДК 620.9:662.99
DOI 10/18101/978-5-9793-2065-6-30-33

РЕКУПЕРАЦИЯ СЕРЫХ СТОКОВ КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ

© Дарбинян Зоя Гарегиновна
магистрант
kafedrates116@mail.ru

© Риккер Юлия Олеговна
старший преподаватель,
yrikker@mail.ru

© Кобылкин Михаил Владимирович
кандидат технических наук, доцент
mikhail.kobylkin@yandex.ru

Забайкальский государственный университет,
Россия, 672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, д.30

Аннотация. В работе рассматривается энергосберегающее решение –компактный рекуператор теплоты серых стоков, предназначенный для интеграции в существующие системы водоотведения без необходимости их масштабной модернизации. Устройство позволяет возвращать до 30–40% тепловой энергии сточных вод, снижая энергозатраты на подогрев воды и обеспечивая приемлемую экономию объектов с высокой санитарной нагрузкой. Конструкция рекуператора специально адаптирована для работы с раковинными стоками, отличающимися стабильным температурным профилем и низкой степенью загрязнения. Это позволило уменьшить габариты устройства и упростить его обслуживание. Проведенные исследования подтвердили эффективность решения как в бытовом, так и в промышленном секторах. Экономическая целесообразность и экологический эффект, выражающийся в сокращении выбросов CO₂ до 0,8 т/год на 10 точек водоразбора, делают технологию перспективной для массового внедрения. В статье также рассматриваются направления дальнейшего развития, включая интеграцию интеллектуальных систем управления и самоочистки. Предложенный рекуператор представляет собой эффективный инструмент реализации стратегий энергосбережения и устойчивого развития.

Ключевые слова: стоки, рекуперация теплоты, энергосбережение, выбросы, потребители.

Проблема рационального использования энергетических ресурсов приобретает особую актуальность в условиях роста тарифов на энергоносители и ужесточения экологических требований. Согласно исследованиям, до 80% тепловой энергии, затрачиваемой на нагрев воды в жилом секторе, теряется вместе со сточными водами [1]. Особый интерес представляют так называемые «серые стоки» - бытовые сточные воды, не содержащие фекальных загрязнений, температура которых может достигать 30-40 °С [2].

Существующие решения для рекуперации тепла сточных вод, такие как системы Zyrho (Великобритания) или ReCoop (Канада), обладают существенными ограничениями, включая высокую стоимость (от 43 тыс. руб.) и необходимость масштабной реконструкции инженерных систем [3]. В данной работе представлена альтернативная разработка, лишенная указанных недостатков.

Современные тенденции энергосбережения выдвигают на первый план необходимость разработки специализированных решений для утилизации низкопотенциального тепла. В этом контексте особый интерес представляет создание рекуператора, оптимизированного исключительно для работы со стоками раковин. Такое узкоспециализированное решение обладает рядом уникальных преимуществ по сравнению с универсальными системами [2].

Сточные воды от раковин характеризуются относительно стабильным температурным профилем в диапазоне 25-35 °С, что несколько ниже, чем у душевых стоков, но обеспечивает более предсказуемые условия работы теплообменного оборудования. При этом они отличаются меньшей степенью загрязнения по сравнению с кухонными стоками, что существенно упрощает требования к системе фильтрации и обслуживанию устройства. Типичный объемный расход на одну точку водоразбора составляет 0,1-0,3 л/с, что позволяет проектировать компактные и эффективные теплообменные модули [1].

Конструкция предлагаемого рекуператора специально адаптирована для работы в условиях раковинных стоков [4]. Устройство отличается минимальными габаритами, соответствующими стандартным сифонным пространствам, что позволяет осуществлять его монтаж без перепланировки существующих сантехнических систем. Вертикальная схема движения теплоносителя обеспечивает оптимальные условия для теплопередачи при характерных для раковин скоростях потока.

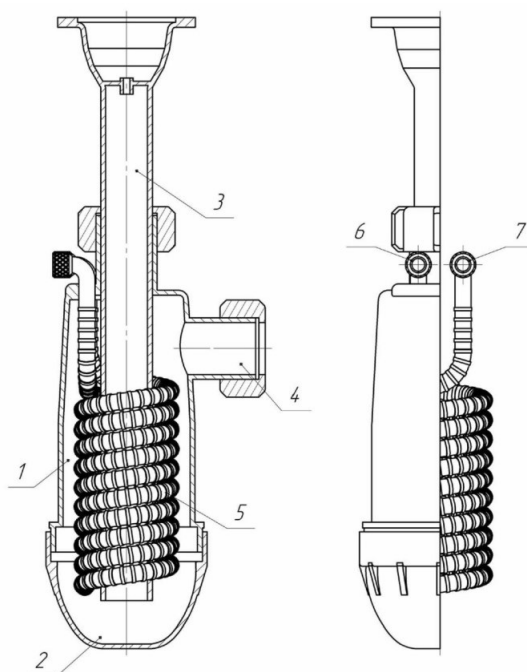


Рис. 1. 1 – корпус сифона, 2 – стакан сифона, 3 – патрубок подвода сточных вод, 4 - патрубок отвода сточных вод, 5 – теплообменник, 6 – входной патрубок для подвода холодной воды, 7 – выходной патрубок для отвода холодной воды.

Наибольшую эффективность данное решение демонстрирует в общественных учреждениях, где отмечается интенсивное использование раковин. В медицинских центрах и лабораториях, где соблюдение гигиенических норм требует частого мытья рук, установка рекуператоров позволяет существенно снизить энергозатраты на подготовку горячей воды. Аналогичный потенциал реализуется в образовательных учреждениях, офисных центрах и других объектах с высокой посещаемостью санитарных зон. Особую ценность устройство представляет для предприятий сферы услуг - салонов красоты, парикмахерских, предприятий общественного питания, где соблюдение гигиенических процедур персоналом является обязательным требованием.

С экономической точки зрения специализация устройства исключительно на раковинных стоках позволяет достичь значительных преимуществ. Благодаря точному соответствию тепловым и гидравлическим параметрам целевого сегмента, КПД системы достигает 35-40%, что на 10-15% выше, чем у универсальных решений. Одновременно удается снизить стоимость устройства на 25-30% за счет оптимизации конструкции и применения более доступных материалов. Для типового офисного центра с 50 рабочими местами и 15 точками водоразбора суточный объем стоков составляет 2,5-3 м³, что при текущих тарифах на энергоносители обеспечивает годовую экономию 45-55 тыс. рублей при сроке окупаемости 2-2,5 года.

Экологический эффект от внедрения таких рекуператоров проявляется в снижении углеродного следа зданий [3] (до 0,8 т CO₂-экв./год на 10 точек) и уменьшении нагрузки на системы горячего водоснабжения. Перспективы развития технологии связаны с интеграцией интеллектуальных систем управления тепловыми потоками, встроенных средств мониторинга эффективности, а также применением инновационных материалов с наномодифицированными теплообменными поверхностями. Рекуператор для стоков раковин предлагает оптимальное сочетание эффективности, стоимости и простоты внедрения для своего целевого сегмента. Данное устройство представляет собой перспективное энергосберегающее решение, обладающее значительным потенциалом для массового внедрения. Использование типа стоков с раковин при проектировании устройства, позволило достичь оптимального сочетания эффективности, стоимости и простоты монтажа. Особое значение имеет перспектива разработки системы самоочистки, которая сможет существенно повысить надежность и долговечность оборудования, минимизировав затраты на обслуживание.

Дальнейшее совершенствование технологии открывает новые возможности для повышения энергоэффективности. Предлагаемое решение вносит существенный вклад в реализацию стратегий ресурсосбережения и соответствует современным экологическим стандартам строительства.

Литература

1. U.S. Department of Energy. Consumer Guide to Home Water Efficiency. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, 2021. 2 p.

2. Кобылкина А. В., Кобылкин М. В., Риккер Ю. О. Сравнительно сопоставительный анализ конструкций теплообменных аппаратов для рекуперации теплоты «серых» сточных вод // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей V Международной научной конференции (30-31 мая 2021 г.). Казань: Конверт, 2021. Ч. 1. С. 85-88.

3. Приказ Минприроды России от 27.05.2022 №371 «Об утверждении методик количественного определения объёмов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов».

4. Рекуператор теплоты сточных вод: Патент № 216381. Заявл. 25.04.2022. Оpubл. 31.03.2023 / Кобылкина А. В., Кобылкин М. В., Риккер Ю. О. 7 с.

GREYWATER HEAT RECOVERY AS A UNIVERSAL MECHANISM FOR ENHANCING ENTERPRISE ENERGY EFFICIENCY

Zoya G. Darbinyan
student,
kafedrates116@mail.ru

Yulia O. Rikker
senior lecturer,
yrikker@mail.ru

Mikhail V. Kobylkin
PhD in engineering, associate professor,
mikhail.kobylkin@yandex.ru

Transbaikal State University,
30 Aleksandro-Zavodskaya st., Chita, 672039, Russia

Abstract. This paper presents an energy-saving solution – a compact greywater heat recovery unit designed for integration into existing drainage systems without the need for large-scale modifications. The device enables the recovery of up to 30–40% of the thermal energy from wastewater, reducing energy consumption for water heating and providing tangible savings for facilities with high sanitary loads. The heat exchanger’s design is specifically optimized for sink greywater, which is characterized by a stable temperature profile and low levels of contamination. This allowed for a reduction in the unit’s dimensions and simplification of its maintenance. Experimental studies have confirmed the effectiveness of the proposed solution in both residential and industrial sectors. Its economic feasibility and environmental benefits – expressed as a reduction in CO₂ emissions of up to 0.8 tons per year per 10 water fixtures – make this technology promising for large-scale implementation. The article also outlines potential areas for further development, including the integration of intelligent control systems and self-cleaning capabilities. The proposed heat recovery unit represents an efficient tool for implementing energy-saving strategies and supporting sustainable development goals.

Keywords: wastewater, heat recovery, energy efficiency, emissions, consumers.

ПРОБЛЕМЫ И ПРАКТИКА ВНЕДРЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

© **Золотухин Сергей Николаевич**
кандидат технических наук, доцент,
ser6812@yandex.ru

© **Кукина Ольга Борисовна**
кандидат технических наук, доцент,
okukina@cchgeu.ru

Воронежский государственный технический университет,
Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Аннотация. Смешанный мусор на полигонах ТБО является основной причиной образования свалочных газов, пожаров на полигонах ТБО и накоплению фильтрата в свалочном теле полигонов. Повторное использование этих материалов после обследования специалистами позволяет резко уменьшить объемы мусора, выбросы парниковых газов, снизить стоимость укрепления грунтов оснований, выполнить устройство фундаментов при малоэтажном строительстве, укреплении оползневых склонов, строительстве объектов на подтапливаемых территориях. В статье приводятся данные по полной стоимости утилизации смешанного мусора. Доказана экономическая и экологическая целесообразность внедрения строительных технологий замкнутого цикла.

Ключевые слова: мусор, строительные технологии, демонтаж.

В рамках большинства дорожных карт различных стран переход к экономике замкнутого цикла ведется при вовлечении государства, науки, бизнеса и населения. Население формирует спрос на «зеленую» продукцию, наука создает технологии замкнутого цикла, бизнес обеспечивает предложение такой продукции через инновации и новые бизнес-модели, государство поощряет развитие экономики замкнутого цикла, и создает для нее правовые рамки.

Переход от базовой линейной экономической модели к циклической требует системных изменений и фундаментального переосмысления базовых привычек, образа мышления и бизнес-подходов. Именно поэтому одним из направлений работы ВГТУ много лет является разработка и внедрение строительных технологий замкнутого цикла.

В СССР осознавали важность повторного использования отходов, образующихся в различных отраслях народного хозяйства. Был создан Всесоюзный проектно-конструкторский и технологический институт вторичных ресурсов, а также научные организации, занимавшиеся разработкой технологий повторного использования отходов и созданием нормативной базы, которые позволяли предотвратить образование мусора на свалках ТБО. Благодаря тому, что частные дома, построенные с повторным применением строительных

материалов, освобождались от уплаты налога на имущество и наличие таких документов, как ЕНиР, Сборник Е20, Ремонтно-строительные работы, сметных норм, ВСН 39-83 (Р) «Инструкция по повторному использованию изделий, оборудования и материалов в жилищно-коммунальном хозяйстве», строительного мусора на полигонах ТБО не было. Наличие опытных специалистов, занимавшихся восстановлением народного хозяйства после Великой Отечественной Войны и в 80-е годы прошлого века попадание строительного мусора на свалки ТБО было исключено.

В период реформирования экономики с 1991 года государственные инструменты управления вторичными материальными ресурсами были упразднены. Отчетность по формам на сбор вторичных ресурсов также была отменена. Это привело к многократному увеличению объемов смешанного мусора.

Строительный бум, связанный с нехваткой жилья привел к тому, что все издержки, связанные со строительством, оплачивались заказчиками, в следствии чего до 70% свалок ТБО заполняется строительным мусором. Ежегодно порядка 150 миллионов кубических метров строительного мусора 3-5 класса опасности попадают на полигоны ТКО, резко увеличивая объемы смешанного мусора, который является источником образования свалочного газа, пожаров на полигонах и фильтрата. К настоящему времени в свалочном теле полигонов нашей страны скопилось более миллиарда тонн фильтрата. Затраты на образование строительного мусора и его захоронения, которые входят в стоимость квадратного метра жилья, в настоящее время превышает более 10000 рублей.

Осознание проблем, возникших в связи с неконтролируемым вывозом отходов на полигоны ТБО, привело к тому, что 20 декабря 2001 года Государственная Дума приняла Федеральный закон об основных принципах и задачах государственной политики в области обращения с отходами. Закон направлен на обеспечение охраны здоровья человека, сохранение благоприятного состояния окружающей природной среды и биологического разнообразия, устойчивое развитие общества. Он также регулирует использование научно-технических достижений для реализации малоотходных и безотходных технологий и комплексной переработки материально-сырьевых ресурсов в целях уменьшения отходов. Закон предусматривает методы экономического регулирования деятельности в области обращения с отходами, доступ к информации и участие в международном сотрудничестве.

Несмотря на наличие нормативных и законодательных актов, требующих предотвращения образования мусора, значительного сокращения объемов свалок ТБО не произошло.

Целью разработки и внедрения строительных технологий замкнутого цикла является:

- снижение объемов смешанного мусора, попадающего на полигоны ТБО.
- снижение стоимости строительства;
- уменьшение выброса парниковых газов.

Согласно исследованиям, практический срок службы строительных материалов может быть в несколько раз больше нормативного, который для ка-

менных, бетонных и железобетонных конструкций составляет 150-175 лет. В частности, памятники архитектуры и исторические здания часто сохраняют свои первоначальные характеристики в течение сотен лет или даже тысячелетий благодаря правильному выбору материалов и особенностям конструкции.

Срок эксплуатации зданий и сооружений, которые подвергаются сносу, обычно составляет от 40 до 70 лет. Во многом, это связано с моральным старением, изменением стоимости земли, урбанизацией, износом сантехнического оборудования, планировкой и использованием зданий, конструктивными особенностями, условиями эксплуатации [1-3]. Поэтому возникает законный вопрос о возможности повторного использования строительных материалов, изделий и конструкций после сноса зданий.

Технология поэлементной разборки зданий с использованием современной техники является совокупностью механизированных и ручных методов, которые осуществляются с помощью средств малой механизации. Процесс включает следующие этапы:

- анализ здания специалистами в области безотходной технологии демонтажа;
- разработку проекта по поэлементной разборке специализированной организацией;
- отключение и вывоз оборудования;
- отключение и демонтаж инженерных сетей;
- разборка деревянных конструкций, проемов окон, дверей;
- демонтаж несущих конструкций;
- демонтаж подвальных помещений;
- разрушение фундамента и удаление его остатков;
- контроль над сносом и сортировкой отходов по группам;
- определение физико-механических и экологических характеристик демонтируемых элементов.

После сортировки полученных материалов, изделий и конструкций выполняется:

- проектирование зданий, дорог и площадок с использованием материалов, изделий и конструкций, полученных в процессе демонтажа;
- инженерный надзор за проведением строительных работ.

Эта технология успешно применялась при демонтаже как промышленных, так и жилых зданий в различных регионах России [1-3].

Широкое внедрение строительных технологий замкнутого цикла позволит сэкономить ежегодно нашей стране более 1 триллиона рублей, предотвратить попадание на полигоны ТБО более 160 миллионов тонн строительного мусора и выбросы порядка 200 миллионов тонн парниковых газов.

Заключение.

Поэлементный демонтаж зданий и повторное применение строительных материалов, изделий и конструкций, образующихся при этом могут резко уменьшить объемы строительного мусора, снизить стоимость укрепления грунтов оснований, устройства различных конструкций фундаментов при

малоэтажном строительстве, укреплении оползневых склонов, строительстве объектов на подтапливаемых территориях

Литература

1. URL: <https://vk.com/club221000713>
2. URL: <https://vk.com/club223836119>
3. URL: <https://vk.com/recyclingconstructions>

PROBLEMS AND PRACTICE OF INTRODUCING CLOSED-CYCLE CONSTRUCTION TECHNOLOGIES

Sergey N. Zolotukhin

candidate of technical sciences, associate professor,
ser6812@yandex.ru

Olga B. Kukina

candidate of technical sciences, associate professor,
okukina@cchgeu.ru

Voronezh State Technical University,
84 20th Anniversary of October St., Voronezh, 394006, Russia

Abstract. Mixed waste in landfills is the main cause of landfill gas generation, landfill fires, and leachate accumulation in landfill bodies. Reusing these materials, after expert inspection, dramatically reduces waste volumes and greenhouse gas emissions, lowers the cost of soil stabilization, and facilitates the installation of foundations for low-rise construction, the stabilization of landslide slopes, and the construction of facilities in flood-prone areas. This article presents data on the full cost of mixed waste disposal. The economic and environmental feasibility of implementing closed-loop construction technologies is demonstrated.

Keywords: mixed waste, closed-loop construction technologies, reuse of building materials, products, and structures, element-by-element dismantling of buildings, and demolition of buildings by collapse.

Научная статья
УДК 620.9
DOI 10/18101/978-5-9793-2065-6-38-41

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМЕННОГО РОЗЖИГА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ СЖИГАНИЯ НИЗКОСОРТНОГО ТОПЛИВА: ПЕРСПЕКТИВЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ

© **Батухтин Андрей Геннадьевич**
доктор технических наук, доцент, профессор,
batuhtina_ir@mail.ru

© **Батухтин Сергей Геннадьевич**
кандидат технических наук, доцент, доцент,
batuhtin1@mail.ru

© **Рудой Валерий Игоревич**
ассистент,
valera_rud_99@mail.ru

Забайкальский государственный университет,
Россия, 672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, д. 30

Аннотация. В данной работе рассматривается проблема снижения качества энергетических углей и возрастающей роли низкосортного топлива в энергетическом балансе. Освещаются трудности, связанные с эксплуатацией низкосортных углей, и отмечается перспективность применения плазменных технологий (ПВПС и ПЦТС) для повышения эффективности их сжигания и снижения экологической нагрузки. Проанализированы преимущества плазменного розжига, включая интенсификацию процесса горения, возможность использования низкокачественного топлива и снижение эмиссии вредных веществ. Подчеркивается соответствие внедрения плазменных технологий стратегическим целям энергетической политики России, ориентированной на повышение доли угля и снижение зависимости от газового топлива. Рассматриваются факторы, сдерживающие широкое внедрение плазменных технологий, в частности, недостаточная изученность аэродинамических процессов при плазменной переработке углей. Обозначена актуальность исследований в данной области для решения проблем масштабирования установок плазменного розжига. Представлен обзор научных организаций, занимающихся исследованиями в области плазменной обработки топлива. В заключение указывается на необходимость комплексного изучения аэродинамических и технологических аспектов применения плазменных технологий сжигания угля для достижения существенного прогресса в повышении эффективности и экологической безопасности энергетических систем.

Ключевые слова: плазменный розжиг, плазменно-циклонная топливная система (ПЦТС), аэродинамика потока, низкосортное топливо, сжигание угля, выбросы вредных веществ, циклонный поток.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 123102000012-2 Комплексное исследование аэродинамических характери-

стик плазменных систем термохимической подготовки топлива, соглашение № 075-03-2023-028/1 от 05.10.2023 г.).

На фоне ухудшения качественных характеристик энергетических углей в структуре топливно-энергетического баланса фиксируется рост удельной доли низкосортных марок [1, с. 23]. Эксплуатация такого топлива осложняется сниженной воспламеняемостью и замедленным выгоранием, что вынуждает увеличивать расход дорогостоящего топочного мазута для стабилизации пылеугольного факела и выполнения пуско-растопочных операций котлов. При совместном сжигании твёрдого и жидкого топлива усиливается образование и выброс загрязняющих компонентов: уноса золы, монооксида углерода (CO), оксидов азота (NO_x) и серы (SO_x), а также пентаоксида ванадия (V₂O₅).

В мировой энергетике одним из наиболее перспективных направлений модернизации топливно-энергетических систем считается внедрение технологий плазменного воспламенения пылеугольных смесей (ПВПС) и плазменно-циклонных методов сжигания угля (ПЦТС). Эти решения ориентированы на снижение или полное исключение потребности в жидких растопочных топливах [2, с. 51].

Главное преимущество плазменного розжига заключается в повышении энергетической эффективности процесса горения. В отличие от традиционных систем воспламенения, плазменные установки обеспечивают более полное сгорание углеродсодержащего топлива, что приводит к росту коэффициента полезного действия (КПД) энергетических агрегатов и одновременному сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Помимо этого, плазменные методы розжига дают возможность использовать уголь низкого качества, что особенно важно для крупных теплоэнергетических объектов в условиях ограниченного доступа к высококалорийным сортам топлива.

Дополнительным преимуществом применения плазменных технологий является сокращение эмиссии диоксида углерода (CO₂) за счёт уменьшения недожога и повышения эффективности горения. Данный фактор имеет особую значимость в свете глобальных экологических требований и усиливающегося внимания к проблемам изменения климата.

Развитие плазменных систем розжига также способствует повышению эксплуатационной надёжности и общей безопасности теплоэлектроцентралей (ТЭЦ). Перспективные плазменные установки отличаются стабильностью работы, меньшей зависимостью от внешних условий и сниженной вероятностью отказов по сравнению с традиционными методами розжига.

Актуальность внедрения современных плазменных технологий сжигания угля, помимо технико-экономических аргументов, подтверждается положениями раздела 5 Энергетической стратегии России до 2030 года (ЭС2030), предусматривающего снижение доли газа в структуре внутреннего потребления энергетических ресурсов, компенсируемое адекватным увеличением доли угля.

Таким образом, применение плазменных технологий розжига на ТЭЦ может привести к существенному улучшению показателей эффективности, экологической безопасности и снижению затрат на топливо в энергетических системах Российской Федерации. Однако переход к плазменным технологиям в современной энергетике и промышленности РФ сдерживается недостаточной изученностью технологических процессов, включая аэродинамические процессы, протекающие при плазменной переработке углей. Данная проблема является одним из ключевых факторов, ограничивающих масштабирование установок плазменного розжига для энергетических систем большой мощности. Решение обозначенной проблемы обеспечит получение результатов, обладающих существенной научной значимостью для отрасли.

В доступных отечественных и зарубежных источниках научно-технической литературы отсутствуют систематизированные данные о выполненных исследованиях, посвящённых аэродинамическим особенностям плазменно-топливных систем. Этот факт подчёркивает новизну и научное превосходство предполагаемых разработок над существующим мировым уровнем.

Тем не менее, исследования, направленные на изучение процессов плазменной обработки топлива, ведутся рядом научных коллективов в России, странах СНГ и за рубежом. Среди них можно выделить Отраслевой центр плазменно-энергетических технологий РАО «ЕЭС России», Институт теплофизики СО РАН, Институт нефтехимического синтеза РАН, ОАО «ЭНИН им. Г.М. Кржижановского», ОАО «Всероссийский теплотехнический институт», Институт газа НАН Украины, Институт угольных энерготехнологий НАН Украины, Институт физики НАН Киргизии, Казахский научно-исследовательский институт энергетики им. академика Ш.Ч. Чокина, НИИ экспериментальной и теоретической физики Казахского национального университета им. аль-Фараби МОН РК, Институт проблем горения МОН РК, ТОО «НТО Плазмотехника» (Казахстан), а также зарубежные организации — HydroQuebec (Канада) и Янтаянская электротехническая компания Lunian (Китай).

Литература

1. Такайшвили Л. Н., Агафонов Г. В. Тенденции и перспективы использования энергетических углей Восточной Сибири // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 3. С. 15-28.
2. Лаврищев О. А., Устименко А. Б. Плазменно-топливные системы и принципы их функционирования // Горение и плазмохимия. 2022. № 20. С. 51-62.

APPLICATION OF PLASMA IGNITION FOR INTENSIFICATION OF LOW-GRADE FUEL COMBUSTION: PROSPECTS AND LIMITATIONS

Andrey G. Batukhtin

doctor of engineering sciences, professor,
batuhtina_ir@mail.ru

Sergey G. Batukhtin

candidate of engineering sciences, associate professor,
batuhtin1@mail.ru

Valery I. Rudoy

assistant,
valera_rud_99@mail.ru

Transbaikal State University,
30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, 672039, Russia

Abstract. This research paper considers the problem of declining quality of thermal coal and the increasing role of low-grade fuel in the energy balance. The difficulties associated with the operation of low-grade coals are highlighted, and the prospect of plasma technologies (PVPS and PCTS) to improve the efficiency of their combustion and reduce the environmental load is noted. The advantages of plasma ignition are analyzed, including intensification of the combustion process, the possibility of using low-quality fuel and reducing emissions of harmful substances. The author emphasizes the compliance of plasma technology implementation with the strategic goals of Russia's energy policy aimed at increasing the share of coal and reducing dependence on gas fuel. The factors restraining the wide introduction of plasma technologies are considered, in particular, insufficient study of aerodynamic processes in plasma processing of coal. The relevance of research in this area for solving the problems of scaling of plasma ignition plants is outlined. A review of scientific organizations engaged in research in the field of plasma fuel processing is presented. In conclusion, it is pointed out the necessity of a comprehensive study of aerodynamic and technological aspects of the application of plasma technologies of coal combustion to achieve significant progress in improving the efficiency and environmental safety of energy systems.

Keywords: Plasma ignition, plasma-cyclone fuel system (PCFS), flow aerodynamics, low-grade fuel, coal combustion, emissions, cyclone flow.

Acknowledgments: This work was supported by the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. 123102000012-2, "Comprehensive Study of the Aerodynamic Characteristics of Plasma Systems for Thermochemical Fuel Preparation," Agreement No. 075-03-2023-028/1 of October 5, 2023).

Научная статья
УДК 691.32
DOI 10/18101/978-5-9793-2065-6-42-48

САМОУПЛОТНЯЮЩИЙСЯ БЕТОН С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИСПЕРСНО-АРМИРУЮЩЕЙ ФИБРЫ, ПОЛУЧЕННОЙ В ПЛАЗМЕННОМ РЕАКТОРЕ

© **Лхасаранов Солбон Александрович**

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В
solbon230187@mail.ru

© **Урханова Лариса Алексеевна**

доктор технических наук, профессор,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В,

Национальный исследовательский Московский государственный
строительный институт, г. Москва
Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26
urkhanova@mail.ru

© **Попов Дмитрий Борисович**

магистрант,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В
dbp03@mail.ru

© **Старинский Иван Васильевич**

кандидат технических наук, доцент,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В
smittes@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается возможность получения самоуплотняющегося бетона с применением золошлаковой смеси Улан-Удэнской ТЭЦ-2 в качестве активной минеральной добавки и микронаполнителя, и золошлакового волокна, полученного в плазменном реакторе. Разработаны составы самоуплотняющегося бетона класса по прочности В30. Изучены реологические и технологические свойства бетонной смеси, которая соответствует марке по удобоукладываемости РК2, по вязкости V4, по текучести Т3. Для повышения физико-механических показателей самоуплотняющегося бетона в состав него вводилась дисперсная фибра – золошлаковое волокно. Использование плазменного реактора для получения минерального золошлакового волокна является энергетически выгодным по сравнению с известными способами. Применение техногенных материалов в каче-

стве микродисперсного активного и армирующего компонентов способствует созданию плотной и прочной структуры бетона и снижению углеродного следа за счет экономии портландцемента.

Ключевые слова: бетон, самоуплотняющийся бетон, портландцемент, золошлаковая смесь, дисперсное армирование, минеральное волокно, золошлаковое волокно.

Благодарности: Статья подготовлена в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации и гранта «Молодые ученые ВСГУТУ-2025».

При разработке составов бетонов для монолитного строительства особое место занимают самоуплотняющиеся бетоны, которые способны заполнять форму под действием собственного веса без применения механического уплотнения [1, с. 34]. При этом важными вопросами при создании новых составов модифицированных самоуплотняющихся бетонов являются обеспечение удобоукладываемости, связности и нерасслаиваемости бетонной смеси, высокого темпа набора и однородности прочности, требуемых эксплуатационных показателей бетона [2, с. 20, 3, с. 111].

Для создания эффекта самоуплотнения бетонной смеси необходимо выдерживать на определенном уровне содержание тонкодисперсных компонентов бетона, включающих цементное вяжущее, активную минеральную добавку и наполнитель [1, с. 35]. В качестве активных минеральных добавок и микронаполнителя применяются различные природные и техногенные материалы, измельченные до высокой степени дисперсности и способные к взаимодействию с цементным вяжущим материалом [4, с. 116, 5, с. 72]. Для обеспечения связности бетонной смеси и повышения физико-механических показателей бетона в состав него вводят минеральные дисперсные волокна [6, с.17]. Применение минеральных волокон, обладающих высокими механическими свойствами и полученными по энергосберегающим технологиям является перспективным.

Ежегодно в Республике Бурятия образуется около 550 тыс. тонн золошлаковых отходов. К 2035 году в регионе планируется достичь утилизации 268 тыс. тонн золошлаков в год (48,7%). Использование золошлаковых материалов для получения новых строительных материалов становится важной научной и практической задачей.

Целью исследования является исследование возможности получения самоуплотняющегося бетона, где в качестве активной минеральной добавки и микронаполнителя использована тонкодисперсная золошлаковая смесь Улан-Удэнской ТЭЦ-1, а в качестве дисперсно-армирующего компонента использовано золошлаковое волокно, полученное в плазменном энергетическом реакторе.

В исследовании для получения самоуплотняющегося бетона использованы следующие материалы: портландцемент (ПЦ) класса ЦЕМ I 42,5 Н ГОСТ 31108-2020 (ООО «Тимлюйцемент»), золошлаковая смесь (ЗШС) Улан-

Удэнской ТЭЦ-1, кварц-полевошпатовый песок I класса с модулем крупности 2,4, щебень гранитный фр. 5-20 мм, суперпластификатор (СП) на поликарбоксилатной основе «Полипласт Реламикс ПК», золошлаковое волокно (ЗШВ), полученное в плазменном энергетическом реакторе, микрофибра базальтовая модифицированная (МФБ) НПК «Нанокompозит».

Минеральные золошлаковые волокна, полученные в плазменном реакторе и микрофибра базальтовая модифицированная НПК «Нанокompозит» имеют схожие характеристики: средний диаметр волокон – 8-10 мкм, прочность на разрыв – 1390 МПа, температуростойкость – 600 °С. Поверхность микрофибры НПК «Нанокompозит» модифицирована углеродными наноматериалами.

Физико-механические свойства и технологические свойства самоуплотняющейся бетонной смеси и бетона определяли по ГОСТ 10180-2012, ГОСТ Р 57819-2017, ГОСТ Р 57815-2017, ГОСТ Р 57816-2017.

При использовании минерального волокна в составе бетона важным вопросом является обеспечение сохранности волокна в среде твердеющего бетона, так как минеральное волокно способно к химическому взаимодействию с компонентами и продуктами гидратации цементного вяжущего. Для оценки пуццоланической активности дисперсно-армирующих компонентов проведены исследования влияния насыщенного раствора гидроксида кальция на исследуемые материалы (табл. 1).

Результаты исследования показывают, что золошлаковое волокно по сравнению модифицированной базальтовой микрофиброй активно взаимодействует с гидроксидом кальция. Наличие на поверхности МФБ углеродных наночастиц позволяет сохранить микрофибру от взаимодействия с гидроксидом кальция, что обуславливает их устойчивость к среде твердеющего бетона.

Таблица 1.

Определение степени пуццоланической активности

<i>Материал</i>	<i>Количество поглощённого СаО, мг/г</i>
ЗШВ	23,0
МФБ	0,0
ЗШВ+ЗШС	34,1
МФБ+ЗШС	31,9

Для предотвращения взаимодействия гидроксида кальция с минеральным золошлаковым волокном исследованы составы, в которых совместно с волокном была введена тонкоизмельченная золошлаковая смесь. Как показывают результаты, при совместном введении волокон с активной минеральной добавкой, количество поглощенного СаО становится больше чем при использовании золошлакового волокна, что говорит о более высокой пуццоланической активности тонкоизмельченной золошлаковой смеси.

Проектирование состава проводилось по ГОСТ 27006-2019, а также в соответствии с рекомендациями по подбору составов бетонных смесей для тя-

желых и мелкозернистых бетонов [7, с. 78], с учётом содержания активных добавок, водопотребности и условий твердения (табл. 2).

Таблица 2.

Составы самоуплотняющегося бетона

№ состава	Расход на 1 куб. м., кг						
	ПЦ	ЗШС	Песок фр. 0-5 мм	Щебень фр. 5-20	Вода	Фибра	СП Реламикс ПК
Контрольный	350	-	850	960	190	-	7
С ЗШВ	245	105	850	960	190	5,3	7
С МФБ	245	105	850	960	190	5,3	7

Результаты определения технологических свойств бетонных смесей представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Характеристики технологических свойств бетонной смеси

№п/п	Удобоукладываемость по расплыву конуса, см	Оценка текучести с использованием		Время истечения из V-образной воронки, с
		блокировочного кольца, мм	L-образного ящика, отн. ед.	
Контрольный	53	12 мм	0,6	31
С ЗШВ	55	9	0,7	28
С МФБ	72	2	0,9	23

Полученные результаты показывают, что контрольный состав не соответствует требованиям для самоуплотняющегося бетона. Значение удобоукладываемости по расплыву конуса (53 см) и марки по текучести (10 мм) свидетельствуют о недостаточной подвижности и низкой текучести смеси, что исключает возможность её самоуплотнения без вибрации.

В составах с ЗШВ и МФБ показатели удобоукладываемости по расплыву конуса соответствуют марке РК2 (66-75 см), марке по текучести Т4, марке по вязкости по времени истечения из воронки V4.

Показатели самоуплотняющейся бетонной смеси соответствуют требованиям ГОСТ Р 59714—2021 «Бетоны самоуплотняющиеся. Технические условия» Смесь обладает высокой удобоукладываемостью, оптимальной вязкостью и стабильностью, что будет обеспечивать эффективное самоуплотнение, сопротивляемость расслоению и способность проникать в сложные армированные участки конструкций.

Исследование кинетики набора прочности на сжатие проводили в возрасте 3, 7 и 28 суток (рис. 1). Результаты испытаний демонстрируют сопоставимые значения прочности как при использовании ЗШВ, так и МФБ во все сроки твердения. Прочность при сжатии составов с дисперсно-армирующими добавками больше контрольного состава после 3 и 7 суток твердения на 22%, после 28 суток – на 18%.

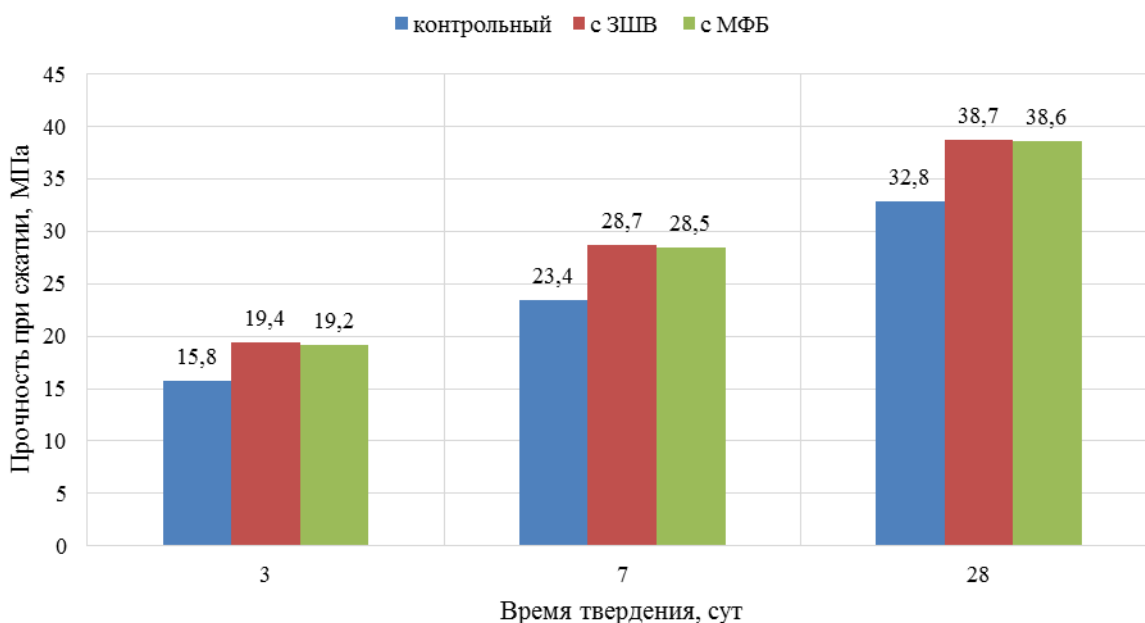


Рис. 1. Прочность при сжатии исследуемых составов

Дисперсное армирование с применением золошлакового волокна и базальтовой фибры положительным образом сказалось на повышении прочности самоуплотняющихся бетонов, создавая устойчивую пространственную структуру и увеличивая сопротивление материала внешним воздействиям, повысило связность (сегрегационную устойчивость) бетонной смеси.

Основной задачей, поставленной при подборе состава, было получение бетонной смеси с оптимальными технологическими и прочностными характеристиками при обеспечении нормативных показателей для бетона класса В30. Выбор класса бетона обоснован необходимостью обеспечить заданную прочность при минимально возможном расходе портландцемента в составе за счёт применения доступных и дешёвых активных минеральных добавок — золошлаковой смеси. Это делает разработанные составы пригодными для массового, энергоэффективного и экологически ориентированного строительства, особенно в условиях регионов Сибири и Дальнего Востока, где наличие золошлаковых отходов обуславливает высокую экономическую целесообразность их вторичного использования.

Литература

1. Бетоны переходного и нового поколений. Состояние и перспективы / В. И. Калашников, О. В. Тараканов, В. М. Володин и др. // Технологии бетонов. 2023. № 2(187). С. 33-38.
2. Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Иванов С. И. Опыт бетонирования массивной густоармированной конструкции с обеспечением термической трещиностойкости // Строительные материалы. 2023. № 10. С. 15-24.
3. Технология возведения конструкций каркасов высотных зданий из высокопрочных бетонов классов В60-В100 / С. С. Каприелов, А. В. Шейнфельд, А. О. Джалаль и др. // Вестник НИЦ Строительство. 2022. № 2(33). С. 106-121.
4. Свойства самоуплотняющегося бетона, изготовленного с применением продуктов переработки бетонного лома / М. О. Коровкин, Н. А. Ерошкина, А. Ю. Егоров, А. И. Шестернин // Региональная архитектура и строительство. 2023. № 4(57). С. 115-121.
5. Самоуплотняющиеся бетоны на основе техногенных отходов / А. С. Мицкевич, Ю. Ю. Курятников, Т. Б. Новиченкова, Е. В. Смирнова // Инновации и моделирование в строительном материаловедении и строительстве: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. Тверь, 2024. С.71-79.
6. Повышение эффективности дисперсного армирования в высокопрочных самоуплотняющихся и каркасных бетонах / В. Т. Ерофеев, О. В. Тараканов, С. В. Ананьев и др. // Строительные материалы. 2024. № 3. С. 15-24.
7. Рекомендации по подбору составов бетонных смесей для тяжелых и мелкозернистых бетонов, НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2016. – 100 с.

SELF-COMPACTING CONCRETE USING DISPERSED-REINFORCING FIBER OBTAINED IN A PLASMA REACTOR

Solbon A. Lkhasaranov

Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department
East Siberia State University of Technology and Management,
40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia,
solbon230187@mail.ru

Larisa A. Urkhanova

Doctor of Technical Sciences, Professor,
East Siberia State University of Technology and Management,
40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia,
National Research Moscow State Civil Engineering Institute,
26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russia,
urkhanova@mail.ru

Dmitry B. Popov

Master's student,
East Siberia State University of Technology and Management,
40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia,
dbp03@mail.ru

Ivan V. Starinskiy

Ph.D. (Eng.), Associate Professor,
East Siberia State University of Technology and Management,
40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia,
smittes@mail.ru

Abstract. The article discusses the possibility of obtaining self-compacting concrete using ash and slag mixture from Ulan-Ude thermal power plant as an active mineral additive and microfiller, and ash and slag fiber obtained in a plasma reactor. Self-compacting concrete compositions of strength class B30 have been developed. Rheological and technological properties of concrete mixture have been studied, which corresponds to the grade of workability PK2, viscosity V4, and fluidity T3. To improve the physical and mechanical properties of self-compacting concrete, dispersed fiber – ash and slag fiber – was introduced into its composition. The use of a plasma reactor for producing mineral ash and slag fiber is energetically advantageous compared to known methods. The use of man-made materials as microdispersed active and reinforcing components helps to create a dense and durable concrete structure and reduce the carbon footprint by saving Portland cement.

Key words: concrete, self-compacting concrete, Portland cement, ash and slag mixture, dispersed reinforcement, mineral fiber, ash and slag fiber

Acknowledgments: The article was prepared within the framework of the strategic academic leadership program "Priority" of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the grant "Young Scientists of VSGUTU-2025".

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ НА ЗДОРОВЬЕ И ЗАБОЛЕВАНИЯ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА КЕМЕРОВО

© Некрасова Елизавета Сергеевна
магистрант,
Кемеровский государственный университет,
Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6
ueytwr@mail.ru.

Аннотация. В данной статье рассматривается проблема влияния промышленных выбросов на здоровье жителей города Кемерово. Исследование фокусируется на анализе взаимосвязи между загрязнением атмосферного воздуха и ростом заболеваний, в частности, болезней органов дыхания, с особым вниманием к детскому населению, как наиболее уязвимой группе. В работе проведен анализ общедоступных статистических данных о заболеваемости различными группами населения, а также сопоставление этих данных с информацией о выбросах загрязняющих веществ от ключевых промышленных предприятий, расположенных на территории города и в его окрестностях. На основании полученных результатов аргументируются негативные последствия загрязнения атмосферного воздуха для физического здоровья населения, приводятся конкретные примеры заболеваний и предлагаются возможные пути решения экологической проблемы с целью улучшения качества жизни горожан.

Ключевые слова: промышленные выбросы, загрязнение атмосферы, здоровье населения, заболевания органов дыхания, угольная промышленность.

Город Кемерово, являясь одним из крупнейших промышленных центров Кузбасса, характеризуется высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха. На территории города функционируют предприятия угольной, химической, машиностроительной и других отраслей промышленности, которые являются источниками значительных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу [1]. Повышенная концентрация вредных веществ в атмосферном воздухе оказывает негативное воздействие на здоровье населения, особенно детей и лиц с хроническими заболеваниями органов дыхания. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью оценки степени влияния промышленных выбросов на здоровье населения и разработки эффективных мер по снижению негативного воздействия.

Анализ статистических данных показал, что в период 2017-2022 гг. отмечается тенденция к росту заболеваемости органов дыхания среди населения города Кемерово. Уровень болезней органов дыхания также остается высоким и превышает среднероссийские показатели. Например, в 2021 году, по данным Министерства здравоохранения Кузбасса, заболеваемость органов дыхания составила 102,1 случаев на 100 тыс. населения, что на 24,8% выше, чем в 2020 году [2]. Можно выявить положительную значимую связь между

уровнем выбросов загрязняющих веществ (в частности двуокись азота, диоксиды серы, бенз(а)пирен, метан, пыль, аммиак, формальдегид и т.д.) и заболеваемостью органов дыхания.

Согласно информации Росприроднадзора об охране окружающей среды, в г. Кемерово за 2024 год было выброшено 59080 тонн загрязняющих веществ в атмосферу, среди которых: диоксид серы, оксид углерода, оксид азота, углеводороды, ЛОС и прочие вещества [3].

Основными предприятиями, которые выбрасывают загрязняющие вещества являются: АО ГК «Азот», «ПО» Токем, ООО «Химпром», ОАО «Кемеровский механический завод», Кемеровская ГРЭС и ПАО «Кокс».

Полученные результаты подтверждают негативное влияние промышленных выбросов на здоровье населения Кемерово, особенно на заболевания органов дыхания. Постоянное воздействие загрязняющих веществ приводит к раздражению дыхательных путей, развитию воспалительных процессов и обострению хронических заболеваний. Кроме того, у детей, чья дыхательная система еще не полностью сформирована, воздействие загрязняющих веществ может привести к нарушению развития легких и повышению риска развития бронхиальной астмы и других респираторных заболеваний.

Проведенное исследование подтверждает существенное негативное влияние промышленных выбросов на здоровье населения города, особенно на заболеваемость органов дыхания. Для улучшения экологической ситуации и снижения негативного воздействия на здоровье населения необходимо принятие комплекса мер, включающих:

Внедрение современных технологий очистки выбросов на промышленных предприятиях: модернизация оборудования, использование более экологически чистого сырья и топлива, установка фильтров и других очистных сооружений;

Переход на возобновляемые источники энергии: развитие солнечной и ветроэнергетики, использование биомассы и других возобновляемых источников энергии для снижения зависимости от угольной промышленности;

Ужесточение контроля за соблюдением экологического законодательства: повышение ответственности предприятий за нарушение экологических норм и правил, проведение регулярных проверок и мониторинга;

Развитие системы мониторинга качества атмосферного воздуха: увеличение количества станций мониторинга, расширение перечня контролируемых загрязняющих веществ, обеспечение доступности информации о качестве воздуха для населения;

Реализация программ профилактики заболеваний органов дыхания: проведение диспансеризации населения, особенно детей и лиц с хроническими заболеваниями, повышение информированности населения о факторах риска и мерах профилактики;

Улучшение градостроительной политики: развитие зеленых зон, создание санитарно-защитных зон вокруг промышленных предприятий, ограничение строительства жилых домов вблизи промышленных зон.

Проведение дальнейших исследований, направленных на более детальное изучение влияния конкретных загрязняющих веществ на здоровье населения и оценку эффективности различных мер по снижению негативного воздействия, является необходимым условием для разработки эффективной стратегии улучшения экологической ситуации и сохранения здоровья населения города Кемерово.

Литература

1. Некрасова Е. С., Пугосей А. П. Растения-гипераккумуляторы как инструмент для снижения антропогенной нагрузки в урбоэкосистемах // Материалы II международной научно-практической конференции. Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2023. С. 517.1-517.4.
2. Министерство здравоохранения Кузбасса. Кемерово, 2023. URL: <https://kuzdrav.ru/work/statistics/sostoyanie.php> (дата обращения: 10.04.2025).
3. Росприроднадзор: Кемерово. 2023. URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/air-score/> (дата обращения: 10.04.2025)

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF INDUSTRIAL EMISSIONS ON THE HEALTH AND RESPIRATORY DISEASES OF THE KEMEROVO CITY POPULATION

Elizaveta S. Nekrasova

Master's student,

Kemerovo State University,

6 Krasnaya street, Kemerovo city, 650000, Russia

ueytwr@mail.ru.

Abstract. Article examines the problem of the impact of industrial emissions on the health of Kemerovo residents. The study focuses on analyzing the relationship between atmospheric air pollution and the growth of diseases, in particular respiratory diseases, with special attention to the children's population as the most vulnerable group. The paper analyzes publicly available statistical data on the incidence of various population groups, as well as comparing these data with information on pollutant emissions from key industrial enterprises located in the city and its surroundings. Based on the results obtained, the negative effects of atmospheric air pollution on the physical health of the population are argued, specific examples of diseases are given, and possible ways to solve the environmental problem in order to improve the quality of life of citizens are proposed.

Keywords: industrial emissions, atmospheric pollution, public health, respiratory diseases.

Научная статья
УДК 004.032.26:004.932
DOI 10/18101/978-5-9793-2065-6-52-58

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОСАР-СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ВИДЕО С МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

© **Чимитова Елена Гендуновна**
кандидат педагогических наук, доцент,
chimitova@gmail.com

© **Немеров Александр Павлович**
студент,
nemerov_a@mail.ru

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В

Аннотация. Анимация на базе искусственного интеллекта круто изменила возможности создания видео. Имеющиеся инструменты ИИ используют передовые алгоритмы, делая процесс анимации более доступным и эффективным. Разработанная интегрированная веб-система для генерации анимации на основе видео и статических изображений с мобильных устройств реализует конвейер: преобразование входного видео в скелетные ключевые точки (zh-plus Video-to-Pose3D), синтез 3D-модели из reference-изображения (Tencent-Hunyuan Hunyuan3D-2) и наложение анимации на готовую 3D-модель (Moore-Threads Moore-AnimateAnyone). Пользовательский интерфейс предоставляет поэтапные карточки для загрузки медиа, настройки параметров генерации, отображения прогресса через SSE и предпросмотра результатов.

Ключевые слова: мосар-система, преобразование входного видео, генерация анимации.

С развитием технологий компьютерного зрения и нейросетевых алгоритмов всё большую популярность приобретают методы захвата движения (motion capture, мосар), не требующие специализированного оборудования. Современные нейросетевые мосар-системы позволяют извлекать 2D и 3D скелетные позы из обычного видео, снятого на мобильное устройство, и использовать полученные данные в различных сферах: от анимации и игр до медицинской визуализации и систем виртуальной/дополненной реальности.

Motion capture (мосар, захват движения) – это технология регистрации движений человека или объекта с последующим преобразованием этих движений в цифровой формат. Основным результатом мосар-систем – это временные ряды координат ключевых точек скелета (суставов), которые можно использовать для анимации персонажей, анализа движений, создания спецэффектов и других задач.

Традиционные мосар-системы требуют установки множества камер и маркеров, что делает их дорогостоящими и трудоёмкими. В отличие от них, нейросетевые системы обеспечивают доступность и простоту использования,

позволяя производить захват движения даже на мобильных устройствах. Однако такие системы требуют грамотной интеграции нейросетевых моделей, визуализации 3D данных и удобного пользовательского интерфейса.

Разработанная mocap-система на основе видео с мобильного устройства решает следующие ключевые задачи:

- Захват и преобразование движений:
 1. Извлечение 3D-скелетных поз из видео, снятого на смартфон.
 2. Фильтрация и сглаживание шумов в данных движения.
 3. Сохранение полученных координат суставов в формате для дальнейшей обработки.
- Генерация анимации статичных изображений:
 1. Наложение 3D-скелета на опорное изображение персонажа.
 2. Синхронизация движений скелета с текстурами и ригом модели.
 3. Экспорт итоговой анимации в видео- или 3D-форматы (MP4, FBX, BVH).
- Управление задачами и историей:
 1. Регистрация и аутентификация пользователей.
 2. Постановка новых задач обработки (“загрузить видео + изображение → запустить”).
 3. Хранение истории всех запущенных задач с их статусами и результатами.
- Интерактивная визуализация результатов:
 1. Просмотр 3D-скелета и анимации прямо в браузере с возможностью поворота, масштабирования и управления воспроизведением.
 2. Предпросмотр отдельных кадров и настройка угла обзора.
- Мониторинг прогресса и уведомления:
 1. Отображение процентного индикатора выполнения этапов обработки (mocap → анимация).
 2. Уведомление пользователя об окончании задачи или ошибках через интерфейс и (опционально) e-mail.
- Интеграция и расширяемость:
 1. Вызов нейросетевых модулей (video-to-pose, animateanyone) как отдельных процессов или через REST-API.
 2. Открытая архитектура для подключения новых моделей захвата движения и рендеринга.
 3. Экспорт данных для последующей интеграции в конвейеры разработки (Blender, Unity, Unreal Engine).

Эти задачи обеспечивают полную автоматизацию цикла от съёмки на мобильное устройство до получения готовой 3D-анимации, делая систему удобным инструментом для аниматоров, разработчиков игр и исследователей компьютерного зрения.

В процессе реализации проекта были рассмотрены классические аппаратные системы захвата движения с использованием камер и датчиков, нейросетевые методы извлечения позы из видео и изображений, популяр-

ные тосар-фреймворки и библиотеки с открытым исходным кодом и коммерческие сервисы.

Сценарий работы системы представлен на рис. 1.

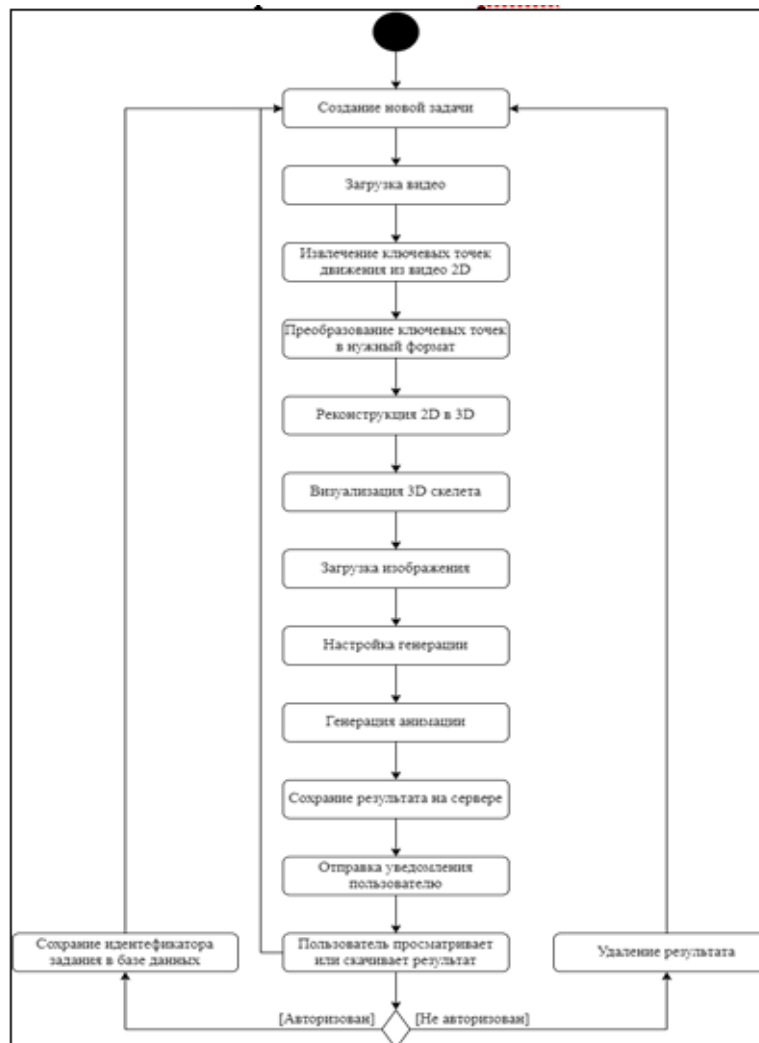


Рис. 1. Диаграмма деятельности системы

Процесс начинается с того, что пользователь входит в веб-приложение под своей учетной записью. После авторизации он переходит к созданию новой задачи и загружает необходимые данные:

- видео с движением (например, записанное на мобильное устройство),
- статичное изображение персонажа, который должен быть анимирован.

Сразу после загрузки данных создаётся задача, которая автоматически попадает в очередь на обработку. Далее система поэтапно выполняет следующие действия:

- извлечение 2D и 3D скелетных ключевых точек с использованием нейросетевого модуля тосар;
- преобразование ключевых точек в нормализованный формат;
- визуализация 3D поз (опционально – в формате BVH/FBX для последующего использования);

- подача полученных данных в модель генерации анимации;
- рендеринг анимации в видеофайл.

После завершения всех этапов система уведомляет пользователя, и результат становится доступен для просмотра и загрузки в интерфейсе веб-приложения. Пользователь может:

- просматривать итоговую анимацию,
- скачать результат,
- удалить задачу или повторно запустить её с другими параметрами.

Этот сценарий охватывает как серверную часть (обработка нейросетями и генерация анимации), так и клиентскую (взаимодействие пользователя с интерфейсом). Он демонстрирует последовательность действий, обеспечивающую автоматизацию и удобство работы с системой.

Диаграмма деятельности интерфейса веб-приложения представлена на рис. 2. Она отражает пользовательские действия: авторизация, просмотр истории задач, управление загрузками, переключение между вкладками интерфейса.

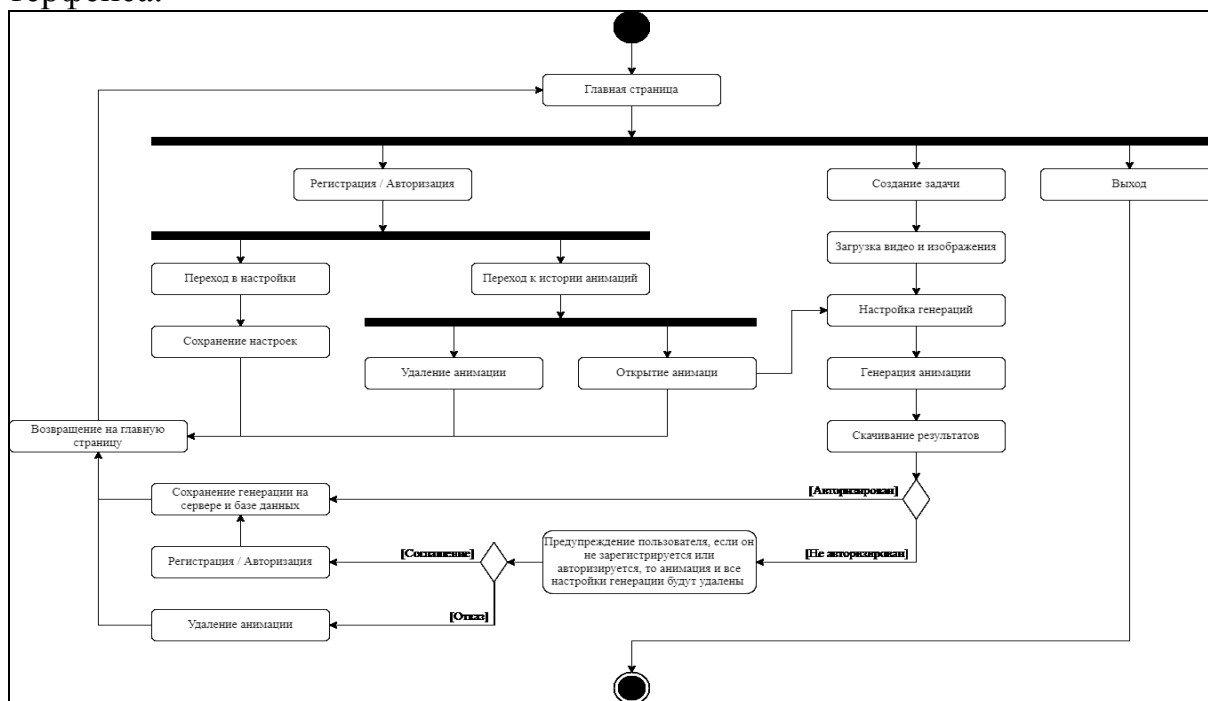


Рис. 2. Диаграмма деятельности пользовательского интерфейса

Диаграммы деятельности демонстрируют логику функционирования как внутренней части системы, так и пользовательского взаимодействия, обеспечивая целостное представление об архитектуре процесса генерации 3D-анимации.

Архитектура системы определяет состав, структуру и взаимосвязи основных компонентов системы анимации на основе нейросетевого захвата движений. Она демонстрирует, как реализованы пользовательские сценарии, взаимодействие модулей и интеграция внешних инструментов, обеспечивая полнофункциональную и расширяемую платформу для обработки видео и генерации анимаций.

Система построена по принципу многослойной архитектуры, включающей клиентскую часть (веб-интерфейс), серверную часть (Flask-приложение с API), базу данных (PostgreSQL), подсистему обработки задач и нейросетевые модули. Обмен между компонентами осуществляется через REST API и файловую систему.

Диаграмма C1 (Рис. 3) иллюстрирует контекст системы и её взаимодействие с внешними пользователями, сервисами и инфраструктурой. Она представляет собой верхнеуровневую модель, не затрагивающую внутреннюю реализацию компонентов, и служит для визуализации ролей и потоков данных.

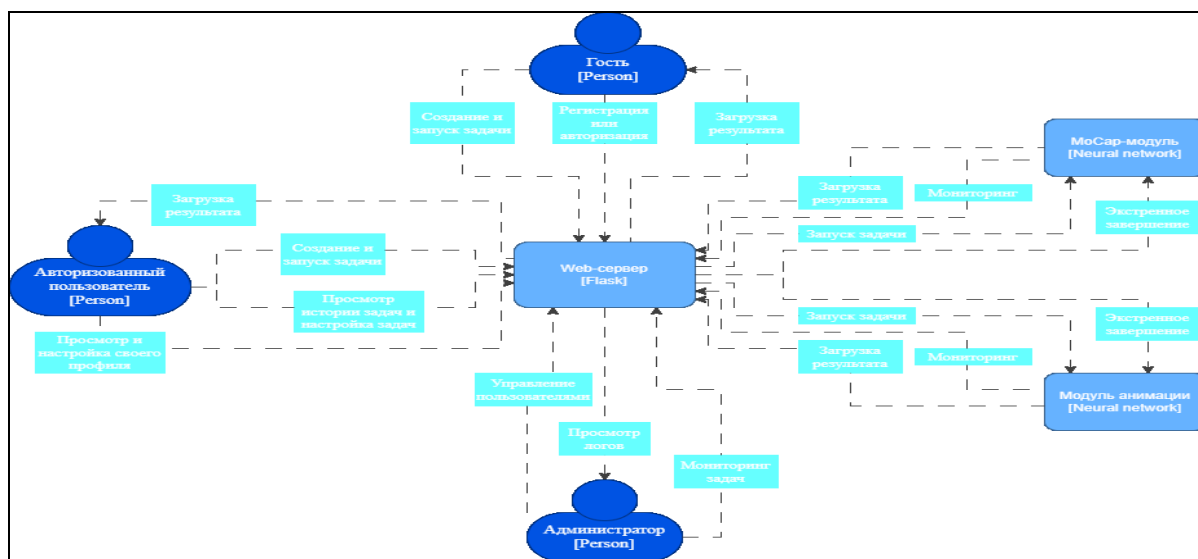


Рис. 3. Контекст системы

Ключевой частью системы является извлечение 3D-скелетной анимации из видео и генерация анимации по этим данным. В качестве основы были взяты и адаптированы под нужды проекта открытые репозитории:

- zh-plus/video-to-pose – библиотека для извлечения 2D и 3D ключевых точек тела человека из видео. Модель была модифицирована для работы с пользовательским видеопотоком и сохранения результатов в формате BVH и JSON.
- MooreThreads/Pose2Vid (vid2pose) – генератор анимационного видео на основе изображения и 3D-поз. Код был доработан для повышения совместимости с выходными данными предыдущей.

Модификации включали переработку архитектуры скриптов, улучшение визуализации скелета для дальнейшего использования в Pose2Vid, реализацию собственного пайплайна обработки и сохранения промежуточных результатов.

Вся логика взаимодействия с пользователем и запуск моделей реализована на Flask – микрофреймворке для Python, обладающем простотой использования и гибкой архитектурой. Flask был выбран за:

- поддержку REST API;
- легкость интеграции с асинхронными задачами (через Celery);

- модульность и расширяемость.

Для организации задач в фоне применялась очередь сообщений и планировщик заданий, что позволило обрабатывать видео асинхронно, без блокировки основного потока сервера.

Разработанный программный стек обеспечивает устойчивую работу всей тосар-системы, включая загрузку файлов, асинхронную обработку задач с помощью нейросетей, визуализацию и хранение результатов. Гибкость выбранных инструментов позволяет при необходимости расширить систему, подключить новые модели или оптимизировать обработку под другие платформы.

Интерфейс приложения реализован с учетом современных требований к UX/UI-дизайну. Он обеспечивает интуитивно понятное взаимодействие, высокую отзывчивость и визуальную целостность, способствуя эффективному использованию функционала системы как зарегистрированными пользователями, так и гостями.

Серверная часть веб-приложения построена на микрофреймворке Flask (Python) и отвечает за координацию работы клиентской части, подсистемы хранения данных и нейросетевых модулей обработки. Все входящие HTTP-запросы обрабатываются маршрутами, объявленными через декораторы `@app.route`, а обмен данными происходит в формате JSON для метаданных и через `multipart/form-data` для загрузки медиафайлов.

Таким образом, реализован проект в виде веб-приложения с авторизацией, историей задач и визуализацией результата, что делает систему удобной для конечного пользователя. Разработанная система позволяет преобразовывать видео в 3D анимацию, анимировать изображения по восстановленным позам, а также сохранять и повторно использовать результаты. Отметим, что применение тосар охватывает широкий спектр областей:

- кино и анимация – для создания реалистичных движений персонажей и спецэффектов;
- видеоигры – для анимации игровых моделей и управления персонажами;
- виртуальная и дополненная реальность – для отслеживания движений пользователя в пространстве;
- спорт и медицина – для анализа техники движения, диагностики и реабилитации.

Литература

1. Макрушин Б. Полное руководство по Flask. Веб-разработка на Python. Москва: ДМК Пресс, 2022. 384 с.
2. Кузнецов Д. С., Морозова И. И. Компьютерное зрение. Современные методы и библиотеки. Москва: ДМК Пресс, 2023. 400 с.

NEURAL NETWORK MOCAP SYSTEM BASED ON VIDEO FROM MOBILE DEVICES

Elena G. Chimitova

PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor,
chimitova@gmail.com

Alexander P. Nemerov

student,
nemerov_a@mail.ru

East Siberian State University of Technology and Management,
40V Klyuchevskaya St., Ulan-Ude, 670013, Russia,

Abstract. AI-powered animation has revolutionized video creation. Available AI tools use advanced algorithms, making the animation process more accessible and efficient. The developed integrated web system for generating animation based on video and static images from mobile devices implements a pipeline: converting input video to skeletal keypoints (zh-plus Video-to-Pose3D), synthesizing a 3D model from a reference image (Tencent-Hunyuan Hunyuan3D-2), and superimposing animation on a finished 3D model (Moore-Threads Moore-AnimateAnyone). The user interface provides step-by-step cards for loading media, adjusting generation parameters, displaying progress via SSE, and previewing the results.

Keywords: mocap system, input video conversion, animation generation.

Научная статья
УДК 669.046
DOI 10/18101/978-5-9793-2065-6-59-66

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ В ТРЕХСТРУЙНОМ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ СО СМЕЩЕННЫМ ВВОДОМ ГАЗА-ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

© **Николаев Михаил Сергеевич**
инженер-исследователь,
nikolaev@itam.nsc.ru

© **Картаев Евгений Владимирович**
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник,
kartayev@mail.ru

© **Ващенко Сергей Петрович**
научный сотрудник,
vashenko@itam.nsc.ru

© **Ковалев Олег Борисович**
доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией,
kovalev@itam.nsc.ru

Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича
СО РАН,
Россия, 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1

Аннотация. В настоящей работе проведено численное моделирование газодинамики смешения высокотемпературных воздушных струй в камере смешения трехструйного плазмохимического реактора проточного типа. Установлено, что наибольший тепловой КПД и наиболее быстрое смешение высокотемпературных струй в камере смешения достигается при смещении осей струй на 9° от оси реактора в поперечном сечении реактора. Проведены расчеты с осевым вводом холодной струи аргона сверху камеры смешения. Показано, что наиболее однородные профили температуры и массовой доли аргона на выходе из реактора достигаются при отношении расходов аргона и газа-теплоносителя 0,9 в реакторе без смещения струй. Установлено, что смещение струй под определенным углом повышает тепловой КПД реактора и позволяет уменьшить расход инжектируемого аргона для достижения наилучшего смешения.

Ключевые слова: численное моделирование, трехструйный плазмохимический реактор, смешение высокоэнтальпийных струй, циркуляционные течения, тепловые потери, варьирование геометрии, смешение газов.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания ИТПМ СО РАН (№ гос. регистрации: 124021500013-7).

Введение

Многоструйные плазмохимические реакторы применяются в плазменном синтезе порошков, обработке тугоплавких материалов, утилизации отходов и др. технологиях [1]. Ключевыми параметрами работы плазмохимического реактора являются эффективное смешение плазменных струй друг с другом и с вводимым в камеру смешения химическим сырьем, тепловой КПД, а также ресурс работы реактора. На ресурс работы непосредственно влияет образование на внутренних стенках камеры смешения гарнисажа из продуктов синтеза и химического сырья [2]. Внутри камеры смешения имеются значительные области возвратных течений [3, стр. 618]. Так, численные расчеты авторов настоящей работы показали наличие вихревых потоков воздуха с возвратным течением между струями в камере смешения трехструйного плазмохимического реактора, а также в верхней области крышки камеры [4]. Такие особенности течения, при осевой подаче сырья в зону смешения струй, приводят к выносу части сырья из области соударения струй и осаждению сырья и/или продуктов реакции на стенки камеры. Уменьшение интенсивности или полное устранение зон циркуляции и областей возвратного течения газа позволит снизить скорость нарастания гарнисажа на стенках камеры смешения [5].

Одним из возможных вариантов повышения качества смешения и уменьшения возвратных течений в многоструйных реакторах является смещение осей плазмотронов на крышке таким образом, чтобы их оси не пересекались на оси реактора. Численное исследование газодинамики четырехструйного реактора с осевой подачей холодного воздуха [6] показало, что смещение струй создает закрученный поток в камере смешения, что увеличивает время нахождения и прогрева холодного воздуха внутри реактора. Также смещение осей позволяет холодному воздуху глубже проникать в центральную высокотемпературную область, но при большом смещении струй возникают дополнительные зоны рециркуляции воздуха в приосевой области реактора. Однако в расчетах расход инжектируемого холодного воздуха не менялся. Изменение расхода газа с осевой подачей может существенно менять картину течения газа.

Таким образом, в данной работе численно исследовалась возможность повышения теплового КПД в камере смешения трехструйного плазмохимического реактора прямоточного типа (ТПХР), а также улучшения качества смешения струй газа-теплоносителя между собой и со струей холодного газа, вводимого вдоль оси реактора. Расчеты проводились для конфигураций ТПХР с различными углами смещения струй при варьировании расходом холодного газа.

Описание модели

Расчеты проводились с помощью пакета прикладных программ Ansys Fluent. В качестве расчетной области (рис. 1) была выбрана геометрия ТПХР, исследованная в работе [4]. Расчетная область включала в себя внутренние стенки корпуса камеры смешения ТПХР (крышка из бронзы, конусная бронзовая часть корпуса, цилиндрическая латунная часть корпуса), а также область течения газа внутри камеры. На границе газ-стенка решалась задача со-

пряженного кондуктивно-конвективного теплообмена. Внутренние стенки ТПХР были водоохлаждаемыми снаружи. В расчетную геометрию были включены области течения газа внутри трех сопел плазмотронов, установленных на крышке камеры симметрично по окружности и расположенных под углом 35° к центральной оси ТПХР. В верхней области камеры (красный контур на рис. 1(а)) осуществлялась осевая подача холодного газа. Диаметр входного отверстия равнялся $0,4D$, выходной диаметр сопел плазмотронов – $0,54D$, где D – внутренний диаметр цилиндрической части корпуса ТПХР. Смещение сопел осуществлялось в поперечной плоскости реактора вокруг точки входа плазмотронов в реактор (рис. 1(б)). Угол смещения осей плазмотронов α менялся от 0 до 15° . Нулевой точкой осевой координаты Y/D считалась точка пересечения осей плазмотронов на оси реактора при $\alpha = 0$.

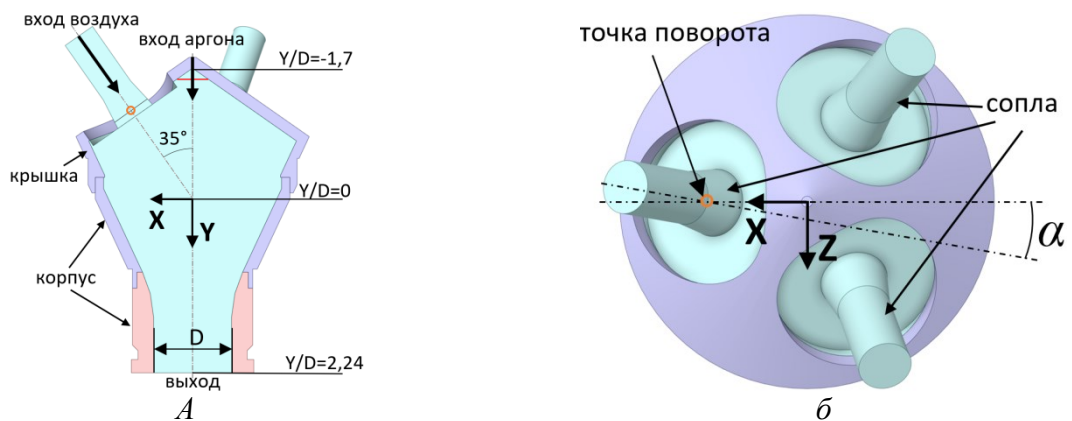


Рис. 1. Геометрия расчетной области: область в разрезе (а), вид сверху (б).

В качестве газа-теплоносителя брался воздух, в качестве холодного газа – аргон. Распределение аргона в расчетной области позволит получить информацию о характере движения химического сырья (газофазного сырья близкой плотности или мелкодисперсного сырья) в камере смешения. Физические свойства газов были заданы исходя из табличных данных, представленных в [7]. Решалась система уравнений неразрывности, Навье-Стокса и энергии, применялась $k-\epsilon$ realizable модель турбулентности. Скорость и температура на входах в области сопел плазмотрона задавались такими, чтобы в камеру смешения ТПХР поступал поток горячего воздуха суммарной тепловой мощностью $Q_{total} = 262,5$ кВт и расходом $G_2 = 75$ г/с. Температура инжектируемого аргона равнялась 300 К, отношение расхода аргона G_1 к расходу воздуха G_2 варьировалось от $0,5$ до $1,3$ для конфигураций ТПХР с различными α .

Результаты и обсуждение

Результаты расчетов газодинамики внутри камеры смешения ТПХР для различных α без подачи аргона приведены на рис. 2. Без смещения сопел ($\alpha = 0^\circ$) струи сопел соударяются и сливаются в центральной области (рис. 2(а)). Часть газа оттесняется вверх к крышке и к боковым стенкам камеры. Газ, движущийся к крышке, далее огибает высокотемпературные струи и устремляется вниз, тем самым формируя зоны рециркуляции в верхней части камеры

смешения. Газ, отраженный к боковым стенкам, движется вдоль них вверх и вниз по потоку. Смещение осей сопел создает закрученный поток, который устраняет возвратное течение вдоль боковых стенок. При этом возвратное течение в верхней части реактора не исчезает, хотя и уменьшается с увеличением α (рис. 2(в)). При смещении осей размер области соударения струй уменьшается, что отражается на распределении температуры в расчетной области (рис. 2(б)). Температура в области камеры выше зоны соударения струй уменьшается.

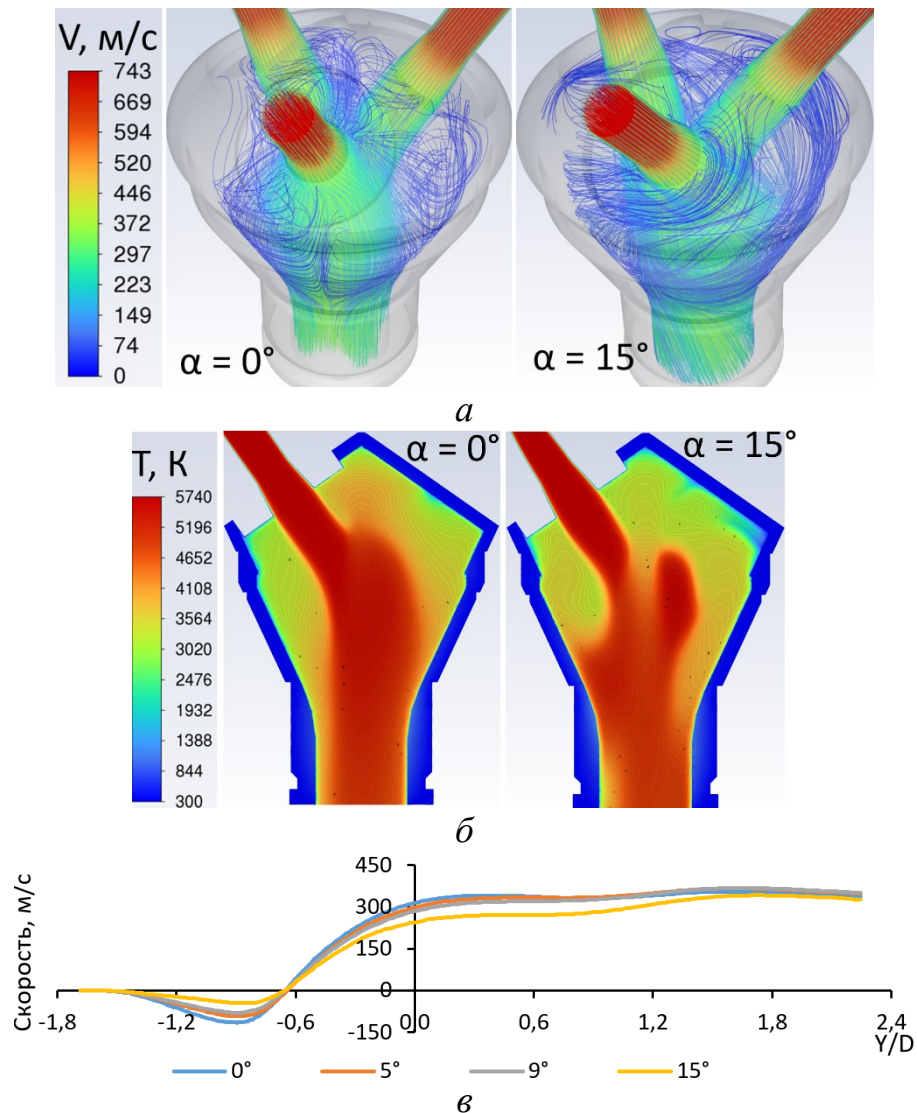


Рис. 2. Линии тока внутри ТПХР (а) и контуры температуры в плоскости XY (б), значения осевой компоненты скорости вдоль оси Y/D при разных α (в).

Тепловой КПД камеры смешения η задавался как $\left(1 - \frac{Q_{loss}}{Q_{total}}\right) * 100\%$, где Q_{loss} – величина потерь тепла в внутренние стенки ТПХР. С увеличением α до 9° η реактора, а также среднемассовые значения скорости V и температуры T на выходе из реактора, возрастают (рис. 3(а)). За счет уменьшения скорости возвратного течения над местом соударения струй доля тепла, выно-

симая массами воздуха на стенки крышки ТПХР, уменьшается, что повышает η . Далее, при $\alpha > 9^\circ$ бóльшая часть потока струй проходит мимо приосевой области ТПХР и выносит тепло на стенки камеры смешения, что обуславливает уменьшение η , V и T также уменьшаются. При $\alpha = 9^\circ$ η ТПХР достигает максимального значения 79,3%.

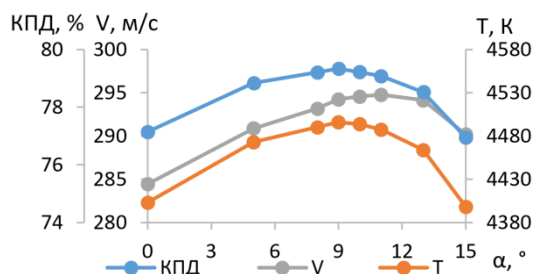


Рис. 3. Зависимость теплового КПД, среднемассовой скорости и температуре на выходе ТПХР от α .

Далее, для геометрий ТПХР с углом α , равным 0° , 5° , 9° и 15° были проведены расчеты смешения потока аргона со струями воздуха, причем для каждого α расход аргона варьировался.

Мерой эффективности смешения принималась степень неоднородности профиля массовой концентрации аргона на выходной границе расчетной области ($Y/D = 2,24$). Степень смешения оценивалась по коэффициенту неоднородности смешения CV_f , который определялся как отношение среднего в заданном сечении канала среднеквадратического отклонения массовой концентрации аргона к среднемассовому значению концентрации аргона, получаемого при полном смешении.

Картина течения аргона при разном отношении массовых расходов аргона и воздуха $\frac{G_1}{G_2}$ для ТПХР с $\alpha = 9^\circ$ представлена на рис. 4. Часть аргона проходит через центральную зону высокой температуры и нагревается. Часть аргона оттесняется на периферию камеры смешения, создавая слой холодного газа у стенок. Это объясняет повышение η ТПХР в сравнении с вариантами без подачи аргона (рис. 5(а)). При повышении $\frac{G_1}{G_2}$ среднемассовая температура на выходной границе потока падает (рис. 5(б)), а массовая доля аргона растет. При $\frac{G_1}{G_2} = 0,5$ вдоль стенок протекает бóльшая часть аргона, которая не успевает нагреться. Тем самым, на выходе ТПХР холодный аргон концентрируется вдоль стенок корпуса (рис. 4(а)), приводя к существенной неоднородности потока (рис. 5(в)). При больших расходах ($\frac{G_1}{G_2} = 1,3$) аргон проходит сквозь центральную зону, повышая f в центре выходной границы (рис. 4(в)).

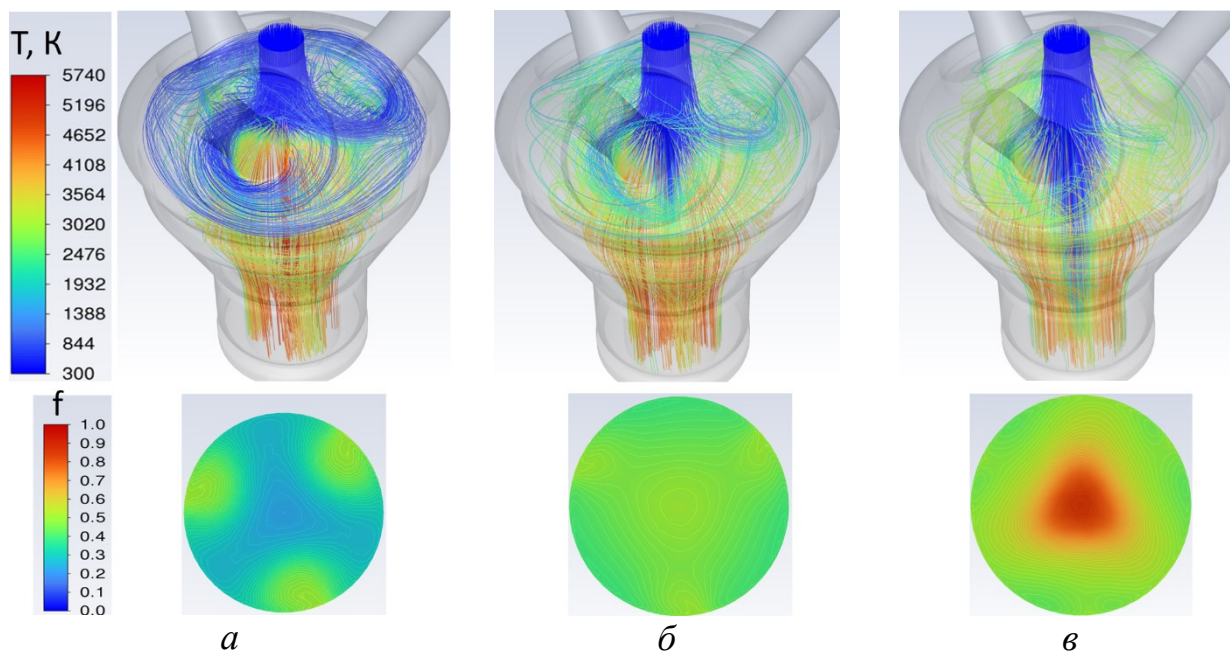


Рис. 4. Значения температуры на линиях тока аргона и контуры массовой доли аргона на выходе для ТПХР с $\alpha = 9^\circ$: $\frac{G_1}{G_2} = 0,5$ (а), $\frac{G_1}{G_2} = 0,9$ (б), $\frac{G_1}{G_2} = 1,3$ (в)

Имеется промежуточное значение отношения расходов $\frac{G_1}{G_2}$, при котором профилю f соответствует наименьший коэффициент неоднородности смешения (рис. 4(б) и рис. 5(в)). Для ТПХР с $\alpha = 0^\circ$ отношение расходов $\frac{G_1}{G_2}$ с наименьшим CV_f составляет 0,9. С увеличением α минимальный CV_f достигается при меньших $\frac{G_1}{G_2}$ (для $\alpha = 9^\circ$ и 15° $\frac{G_1}{G_2} = 0,8$ и $0,7$ соответственно).

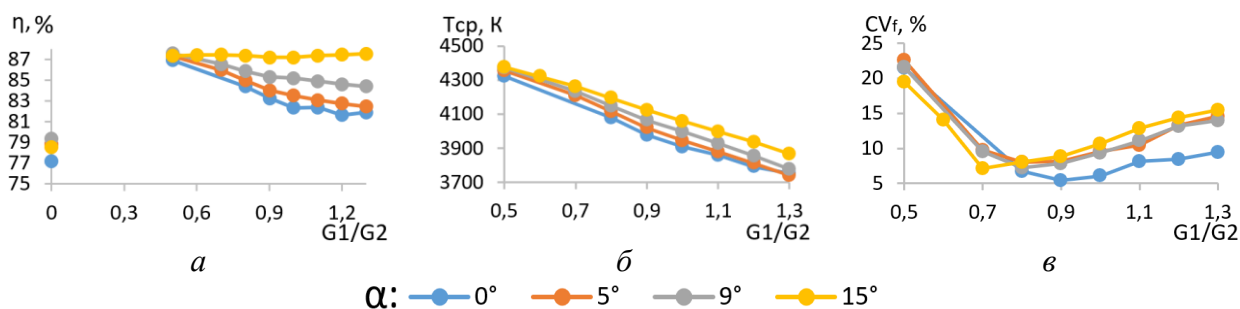


Рис. 5. Тепловой КПД ТПХР (а), среднемассовые температура (б), коэффициент неоднородности смешения(в) при разных углах смещения.

Закключение

Численными методами исследована газодинамика смешения высокотемпературных струй воздуха в камере смешения ТПХР. Результаты расчетов показали, что для реактора данной компоновки геометрия со смещением осей плазмотронов в поперечном сечении на 9° показывает наибольшее значение теплового КПД и наиболее однородный профиль температуры и скорости газового потока на выходе из реактора.

Показано, что при осевом вводе аргона в камеру смешения картина течения существенно зависит от расхода аргона. Наилучшее смешение струй аргона и высокотемпературного воздуха достигается в ТПХР без смещения и со смещением струй при отношении расходов аргона и воздуха 0.7-0.9.

Литература

1. Михайлов Б. И. Электродуговые плазмохимические реакторы раздельного, совмещенного и раздельно-совмещенного типов // Теплофизика и аэромеханика. 2010. Т. 17, № 3. С. 425-440.

2. Kim M., Oh J. H., Hong S. H., Lee Y. H., Kim T. H., Choi S. Synthesis of boron nitride nanotubes in thermal plasma with continuous injection of boron under atmospheric pressure. *Journal of Materials Research*. 2022; 37; 24: 4419-4427.

3. Электродуговые генераторы термической плазмы / М. Ф. Жуков, И. М. Засыпкин, А. Н. Тимошевский и др. Новосибирск: Наука. СО РАН, 1999. Сер. Низкотемпературная плазма. Т. 17. 712 с.

4. Моделирование течений газа в камере смешения трёхструйного плазмохимического реактора / М. С. Николаев, Е. В. Картаев, С. П. Ващенко, О. Б. Ковалев // Вычислительные технологии и прикладная математика: материалы III научной конференции с международным участием (Комсомольск-на-Амуре, 7-11 окт. 2024 г.). Комсомольск-на-Амуре: Изд-во КНАГУ. 2024. С.271-275.

5. Zhou A., Lu P., Xia J., Li D., Guo J., Du, M., Dong, L. Scarring analysis and numerical simulation of TiCl₄ oxidation reactor in chloride process of titanium dioxide. *CIESC Journal*. 2023; 74; 4: 1499.

6. Chen X., Wang S., Xia W. A Novel Multiple Plasma Jet Tangentially Mixed Reactor: Design and Carbon Black Production. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. 2024; 44; 2: 721-738.

7. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей // Государственное издательство физико-математической литературы. Москва, 1963. 707 с.

NUMERICAL SIMULATION OF GAS DYNAMICS IN A THREE-JET PLASMACHEMICAL REACTOR WITH A SHIFTED HEAT CARRIER GAS INLET

Mikhail S. Nikolaev
Research Engineer,
nikolaev@itam.nsc.ru

Evgeny V. Kartayev
PhD in Physics and Mathematics, Senior Researcher,
kartayev@mail.ru

Sergey P. Vashchenko
Researcher,
vashenko@itam.nsc.ru

Oleg B. Kovalev
Doctor of Physics and Mathematics, Head of the Laboratory,
kovalev@itam.nsc.ru

S.A. Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS,
4/1 Institutskaya St., Novosibirsk, 630090, Russia

Abstract. In the paper, a numerical simulation of the gas dynamics of high-temperature air jets mixing inside the mixing chamber of a three-jet direct flow plasma-chemical reactor has been carried out. It has been established that the highest thermal efficiency and the fastest of high-temperature jets in the mixing chamber is achieved by shifting the axes of the jets by 9° from the reactor axis. In addition, calculations have been performed for the case with the axial injection of a cold argon jet from above the mixing chamber. The most homogeneous profiles of the temperature and argon mass fraction at the reactor outlet are achieved when the ratio of argon and heat-carries gas flow rate equals 0.9 for the reactor without jet displacement. It has been found that jet shift with a certain angle increases the reactor heat efficiency and reduces the argon flow rate to achieve the best gas mixing.

Keywords: numerical simulation, three-jet plasma-chemical reactor, high-enthalpy jets mixing, circulation flows, heat losses, geometry variation, gas species mixing.

Acknowledgments: This work was supported by the state assignment of the Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ITAM SB RAS) (State Registration No. 124021500013-7).

ПОГЛОЩЕНИЕ ОКСИТЕТРАЦИКЛИНА ГЛИНИСТЫМИ МИНЕРАЛАМИ

© **Переломов Леонид Викторович**

кандидат биологических наук, заведующий лабораторией,
Тульский государственный педагогический университет
имени Л. Н. Толстого (Толстовский университет),
Россия, 300026, г. Тула, проспект Ленина, 125
perelomov@rambler.ru

Аннотация. Изучено поглощение из водного раствора гидрохлорида окситетрациклина глинистыми минералами с различной структурой: каолинитом, бентонитом и вспученным вермикулитом. Экспериментальные данные аппроксимированы моделями Ленгмюра и Фрейндлиха. Максимальная адсорбция антибиотика наблюдается при использовании вспученного вермикулита. Очевидно адсорбция окситетрациклина также сопровождается его осаждением в растворе в результате изменения кислотности под влиянием глинистых минералов.

Ключевые слова: антибиотики, окситетрациклина гидрохлорид, бентонит, вермикулит, каолинит, адсорбция

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-20037, <https://rscf.ru/project/25-17-20037/>, Тульский регион.

Антибиотики являются одними из самых значительных открытий человечества, спасших бесчисленное количество жизней и улучшивших качество жизни многих людей. Однако широкое использование антибиотиков приводит к загрязнению окружающей среды, включая поверхностные и грунтовые воды, донные отложения и почвы [7].

В связи с этим важным вопросом является разработка материалов и технологий, которые могут минимизировать риск загрязнения окружающей среды антибиотиками и рекультивировать уже загрязненные участки.

Сорбционные материалы на основе глинистых минералов широко распространены, недороги, имеют большую удельную площадь поверхности и высокую емкость катионного обмена [3]. Они физически и химически стабильны, нетоксичны и обладают в случае необходимости возможностью десорбировать загрязняющие вещества после использования, что делает их эффективными сорбентами антибиотиков, позволяющими очищать от этих органических загрязнителей загрязненные воды и иммобилизовать их в почвах и грунтах.

В сорбционных экспериментах нами было изучено поглощение антибиотика гидрохлорида окситетрациклина в концентрации 0,3-15 ммоль различ-

ными глинистыми минералами – каолинитом, бентонитом и вспученным (термически обработанным) вермикулитом. Соотношение твердой и жидкой фазы составляло 1:100. Эксперимент проводился при комнатной температуре в течение 3 часов при встряхивании на орбитальном шейкере (180 оборотов/минуту). Определение количества адсорбированного вещества проводилось в равновесном растворе с помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии [1]. Полученные экспериментальные данные были аппроксимированы уравнениями Ленгмюра и Фрейндлиха.

Каолинит является типичным представителем филлосиликатов со структурой 1:1. Этот минерал образуется в результате выветривания полевого шпата и других алюмосиликатов в кислых условиях. Он состоит из тетраэдрического слоя кремнезема и октаэдрического слоя глинозема, которые расположены поочередно. Катионообменная емкость каолинита может составлять от 1 до 10 мг-экв/100 г при площади удельной поверхности 7–30 м²/г) [6]. Способность поглощать анионные вещества у каолинита невелика и составляет менее 2 смоль/кг [5].

Изотермы адсорбции окситетрациклина гидрохлорида на каолините и параметры адсорбции в соответствии с уравнениями Ленгмюра и Фрейндлиха показаны на Рис. 1 и в Табл. 1.

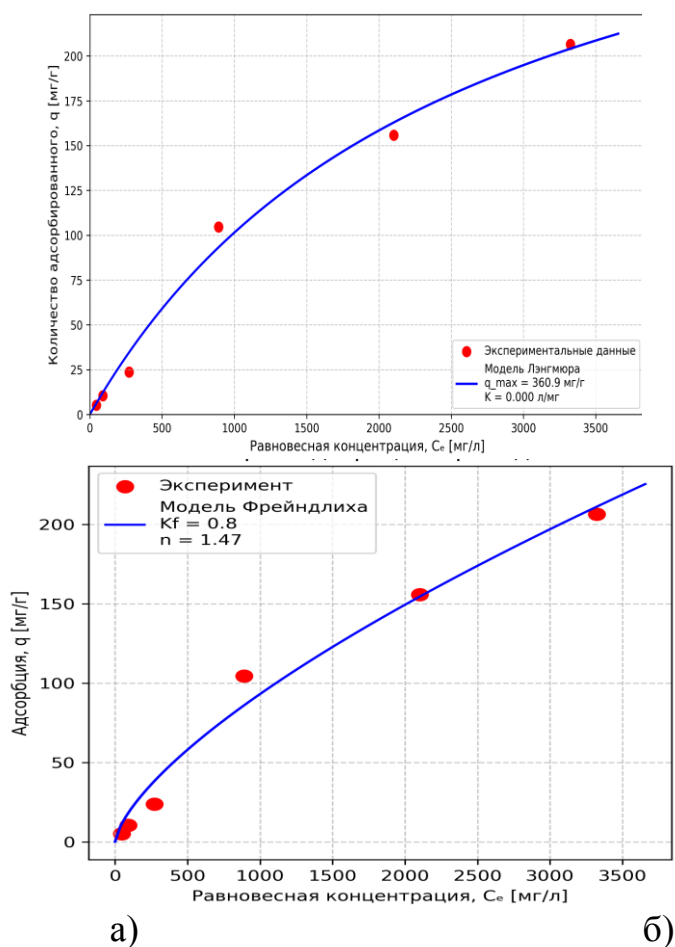


Рис. 1. Изотермы адсорбции окситетрациклина гидрохлорида на каолините а) Модель Ленгмюра б) Модель Фрейндлиха

Таблица 1.

Параметры адсорбции окситетрациклина гидрохлорида на каолините

Сорбционные модели					
Модель Ленгмюра			Модель Фрейндлиха		
R	A_{∞} , мг/г	K_L , л/мг	R	K_f , л/мг	n
0,996	$360,9 \pm 53,8$	$0,0004 \pm 0,0001$	0,991	0.84 ± 0.54	1.47 ± 0.18

Как модель Ленгмюра, так и модель Фрейндлиха, исходя из высоких значений коэффициентов корреляции, удовлетворительно описывают поглощение антибиотика. Тем не менее, уравнение Ленгмюра немного лучше аппроксимирует экспериментальные данные. Величина максимальной (предельной адсорбции) согласно данному уравнению достигает 360,9 мг/г.

Монтмориллонит является основным глинистым минералом, обнаруженным в бентонитовых породах, которые образованы из вулканического пепла. Эти породы реже встречаются в осадочных породах старше мезозойской эры и представляют собой промежуточную стадию в процессе выветривания. Монтмориллонит можно найти в илистых почвах в умеренных регионах, где он является одной из наиболее распространенных глинистых фракций [8]. Бентониты можно разделить на два основных типа: кальциевый бентонит, который не набухает, и натриевый бентонит, также известный как набухающий бентонит.

Образование Na- и Ca-монтмориллонитов определяется палеогеографическими условиями седиментации. В талассогенных бассейнах с солеными и рассольными водами Na-Cl состава на глинистых частицах закрепляются натрий и калий, а в континентальных пресноводных водах на них осаждаются щелочноземельные элементы – кальций и магний. Двухвалентные катионы обеспечивают более сильное притяжение между пакетами по сравнению с одновалентными, в связи с чем бентонит с преобладанием в составе обменных катионов кальция (кальциевый бентонит) хуже диспергируется и обладает низкой степенью набухания (увеличивает объем в 8 раз) в отличие от натриевого бентонита (набухает в 15 раз). При этом межпакетное расстояние составляет от 1–5 нм (для Ca-монтмориллонита) до 15–20 нм (для Na-монтмориллонита).

Внешняя удельная поверхность смектитовых глин достигает 40–70 м²/г, общая удельная поверхность – 450–850 м²/г, пористость – ≈0.006–0.010 см³/г. Емкость катионного обмена, определенная общепринятыми методами, для смектитов из разных месторождений составляет 65–135 ммоль-экв/100 г. Способность поглощать анионные вещества у смектитов невелика и составляет <5 смоль/кг [3].

Изотермы адсорбции окситетрациклина гидрохлорида на бентоните и параметры адсорбции в соответствии с уравнениями Ленгмюра и Фрейндлиха показаны на Рис. 2 и в Табл. 2.

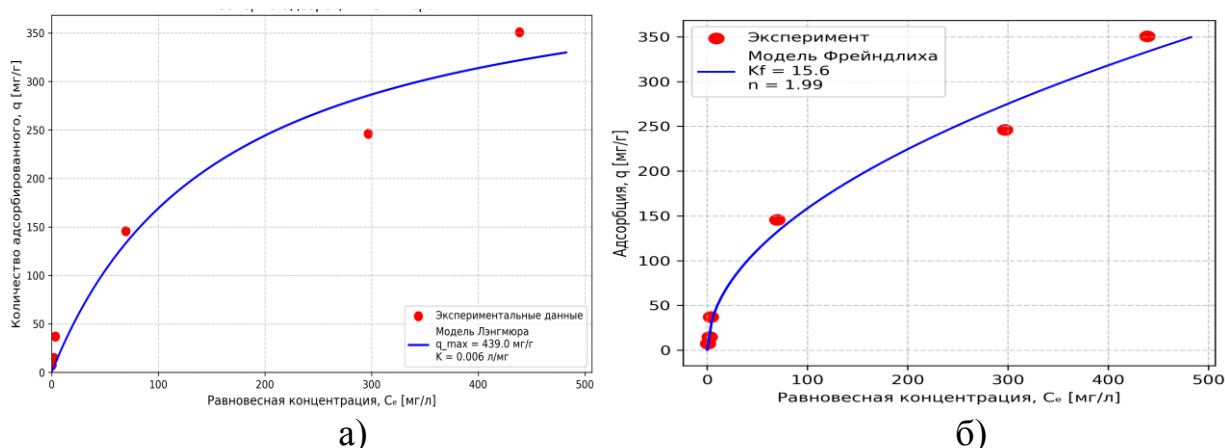


Рис. 2. Изотермы адсорбции окситетрациклина гидрохлорида на бентоните
 а) модель Ленгмюра б) модель Фрейндлиха

Таблица 2

Параметры адсорбции окситетрациклина гидрохлорида на бентоните

Сорбционные модели					
Модель Ленгмюра			Модель Фрейндлиха		
R	A_{∞} , мг/г	K_L , л/мг	R	K_f , л/мг	n
0.983	438.97 ± 85.85	0.0063 ± 0.0034	0.993	15.62 ± 5.71	1.99 ± 0.25

В случае с бентонитом наблюдается лучшая аппроксимация экспериментальных данных уравнением Фрейндлиха ($r = 0,993$). Величина максимальной (предельной адсорбции) в соответствии с уравнением Ленгмюра достигает 439 мг/г, что больше чем у двуслойного минерала каолинита.

Вермикулиты имеют более высокий заряд, чем минералы группы монтмориллонита (табл. 1) и также относятся к набухающим минералам. Однако они не обладают способностью к неограниченному набуханию и количество воды в межпакетном пространстве ограничено 4-мя молекулами на элементарную ячейку. Величина емкости катионного обмена вермикулитов в 1.5–2.0 раза больше таковой монтмориллонитов, а площадь удельной поверхности может достигать 800 м²/г. Вермикулиты обладают высокой селективностью поглощения и способностью к необратимому поглощению в межпакетных пространствах крупных, слабо гидратированных катионов [4]. Вспученный вермикулит получают в результате обжига природного минерала при температуре 700 градусов и выше. Это сыпучий пористый материал в виде чешуйчатых частиц серебристого или золотистого цвета.

Изотермы адсорбции окситетрациклина гидрохлорида на термически обработанном вермикулите и параметры адсорбции в соответствии с уравнениями Ленгмюра и Фрейндлиха показаны на Рис. 3 и в Табл. 3.

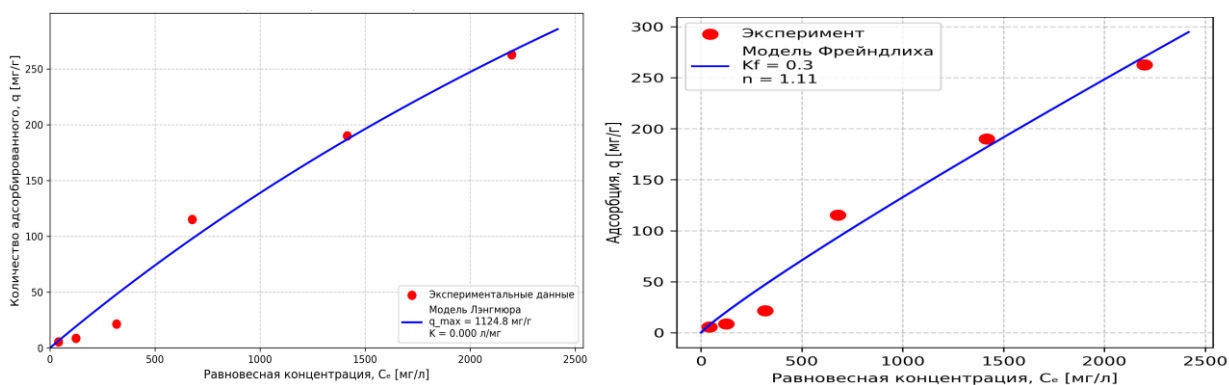


Рис. 3. Изотермы адсорбции окситетрациклина гидрохлорида на вермикулите
 а) Модель Ленгмюра б) Модель Фрейндлиха

Таблица 3

Параметры адсорбции окситетрациклина гидрохлорида на вермикулите

Сорбционные модели					
Модель Ленгмюра			Модель Фрейндлиха		
R	A_{∞} , мг/г	K_L , л/мг	R	K_f , л/мг	n
0.990	1124.79 ± 842.63	0.0001 ± 0.0001	0.988	0.26 ± 0.24	1.11 ± 0.15

Формально, модель Ленгмюра лучше аппроксимирует полученные данные. Однако при этом величина максимальной адсорбции велика и достигает 1125 мг/г (с большими значениями стандартных отклонений). Очевидно, процессы взаимодействия окситетрациклина с глинистыми минералами не сводятся только к адсорбции. Слабощелочные и щелочные суспензии минералов приводят к осаждению антибиотика, имеющего несколько различных функциональных групп, в результате изменения pH сорбционных растворов. При этом описание процесса осадкообразования возможно с использованием уравнений адсорбции. С точки зрения удаления антибиотиков из раствора при очистке сточных и загрязненных вод механизм удаления не имеет значения, однако, мы должны понимать возможные особенности взаимодействий при использовании глинистых минералов для поглощения антибиотиков в других областях.

Таким образом, глинистые минералы разного строения и всех групп могут быть эффективными сорбентами окситетрациклина, но наиболее успешные результаты для очистки загрязненных вод и иммобилизации антибиотика в почве, показывают минералы структуры 2:1, которые имеют высокую удельную поверхность, широко распространены и недороги.

Литература

1. Государственная фармакопея Российской Федерации 14-го издания 2018 год. Количественное определение амоксицилина тригидрата, ФС.3.1.0113.22.

2. Осипов В. И., Соколов В. Н., Румянцева Н. А. Микроструктура глинистых пород / под редакцией Е. М. Сергеева. Москва: Недра, 1989. 211 с.
3. Органоглины – новый класс перспективных сорбентов для ремедиации химически загрязненных объектов окружающей среды / Л. В. Переломов, Ю. М. Атрощенко, Т. М. Минкина и др. // *Агрохимия*. 2021. № 8. С. 82-96.
4. Минеральные компоненты почв / С. Я. Трофимов, Т. А. Соколова, Т. Я. Дронова, И. И. Толпешта. Тула: Гриф и К, 2007. 104 с.
5. Dixon J.B. Kaolin and serpentine group minerals // *Minerals in soil environments*. 2nd ed. / Eds. Dixon J.B., Weed S.B. *SSSA Book Series*. 1989; 1: 467–525.
6. Kumar A., Lingfa P. Sodium bentonite and kaolin clays: Comparative study on their FT-IR, XRF, and XRD. *Materials Today: Proceedings*. 2020; 22: 737–732.
7. Perelomov L., Sizova O., Gertsen M., Perelomova I., Arlyapov V., Atroshchenko Y. Antibiotic Resistance in Metal-Tolerant Microorganisms from Treatment Facilities. *Antibiotics*. 2023; 12: 1678.
8. Raudkivi, A.J. *Loose Boundary Hydraulics* (1st ed.). CRC Press: London, UK, 1998. 507 p.

ABSORPTION OF OXYTETRACYCLINE BY CLAY MINERALS

Leonid V. Perelomov

candidate of biological sciences, head of the laboratory,
Tula State Pedagogical University named after L.N. Tolstoy (Tolstoy University)
125 Lenin Avenue, Tula, 300026, Russia,
perelomov@rambler.ru

Abstract. The sorption of oxytetracycline hydrochloride from an aqueous solution by clay minerals with different structures (kaolinite, bentonite and expanded vermiculite) was studied. The experimental data were approximated by the Langmuir and Freundlich models. The maximum adsorption of the antibiotic was observed when using expanded vermiculite. Apparently, the adsorption of oxytetracycline is also accompanied by its precipitation in the solution as a result of acidity changes under the influence of clay minerals.

Keywords: antibiotics, oxytetracycline hydrochloride, bentonite, vermiculite, kaolinite, adsorption.

Acknowledgments: the study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 25-17-20037, <https://rscf.ru/project/25-17-20037/>, Tula region.

Научная статья
УДК 504.05:662.997:547.26
DOI 10/18101/978-5-9793-2065-6-73-75

ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩЕЙ ПОРОДЫ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВНОЙ ДОБАВКИ

© Рудой Валерий Игоревич
ассистент,
valera_rud_99@mail.ru

© Батухтин Андрей Геннадьевич
доктор технических наук, профессор,
batuhtina_ir@mail.ru

Забайкальский государственный университет,
Россия, 672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, д. 30

Аннотация. В статье рассматривается актуальная экологическая проблема, связанная с загрязнением атмосферы при сжигании органических видов топлива, таких как уголь, мазут и природный газ, в теплоэнергетическом комплексе. Основное внимание уделено влиянию качества топлива на объём вредных выбросов, включая диоксид серы, оксиды азота, углекислый газ, твёрдые частицы и токсичные соединения. В качестве одного из перспективных решений предложено использование топливных добавок, в частности цеолитсодержащей породы. Описаны основные механизмы воздействия цеолита на процесс горения: сорбция вредных соединений, каталитическое окисление углеводородов и стабилизация состава газовой фазы. Отмечено, что применение цеолита способствует снижению выбросов загрязняющих веществ без существенного вмешательства в работу оборудования. Сделан вывод о перспективности дальнейших исследований для практического внедрения технологии в энергетике.

Ключевые слова: цеолит, топливные добавки, органическое топливо, загрязнение атмосферы, экологическая безопасность, энергетика, уголь.

Органические виды топлива — природный газ, уголь, мазут — по-прежнему доминируют в российском ТЭК и остаются главным источником тепла и электроэнергии, а значит — базовым источником техногенных выбросов [1]. При горении выделяются диоксид серы, оксиды азота, углекислый газ и мелкие частицы, которые ухудшают качество воздуха и повышают риски для здоровья населения [2]. Сжигание жидких и твёрдых топлив (мазут, уголь), на которые приходится большая доля вырабатываемой энергии формирует не только SO_2 и NO_x , но и значительные фракции золы, тяжёлых металлов и бенз(а)пирена [1].

На количество выбросов оказывает влияние большое число факторов. Качество исходного топлива, эффективность организации процесса сжигания и наличие специализированных систем очистки практически полностью опре-

деляют количество полученных вредных выбросов. Решение экологической проблемы сжигания топлива должно соответственно воздействовать на определяющие факторы. Если рассматривать данные факторы с точки зрения скорости и технической возможности реализации изменений на объекте сжигания, то наиболее перспективным является воздействие на качество топлива. В случае внесения технически обоснованного изменения в параметры топлива не произойдет существенных изменений в процессе работы объекта сжигания.

В качестве изменения свойств топлива рассмотрим применение топливных добавок для твердого топлива (угля). В целом топливные добавки могут оказывать влияние на множество параметров горения топлива [3]. Однако для решения обозначенной проблемы интересны добавки, способные понизить количество выбросов твердых веществ. Механизм их действия может быть основан либо на химическом подавлении загрязняющих веществ либо на улавливании (сорбции). В частности, для последнего способа может подойти такое вещество как цеолит, который представляет из себя пористый сорбент. Благодаря развитой микропористости и способности к ионному обмену природный цеолит действует как «губка», временно удерживая газообразные и парообразные компоненты топлива. К таковым можно отнести SO_2 и NO_x а так же и бенз(а)пирен. Кроме этого происходит сглаживание колебания состава газовой фазы и стабилизируется процесс горения. Алумосиликатный каркас цеолита создаёт на поверхности активные центры, ускоряющие окисление углеводородов и образование радикалов OH и O . В результате повышается полнота сгорания, сокращается объем несгоревших соединений и снижается образование сажи.

Способность цеолита снижать концентрации оксидов серы и азота так же позволяет охлаждать уходящие дымовые газы до более низких температур без риска низкотемпературной коррозии поверхностей нагрева, что в свою очередь способствует сокращению потерь тепла и уменьшению расхода топлива.

Как показали первичные опытные исследования [4] цеолит действительно способен снижать выбросы загрязняющих веществ в дымовых газах, без существенных изменений прочих режимных параметров горения. Однако данный вопрос требует более глубокого исследования как экспериментального, так и аналитического.

В целом применение цеолита для снижения загрязнений от сжигания топлива можно считать технически обоснованным.

Литература

1. Гапонов В. Л., Самарская Н. С. Оценка экологичности сжигания органических видов топлива предприятиями топливно-энергетического комплекса // Инженерный вестник Дона. 2015. № 3(37). С. 103.

2. Постников М. Г. снижение негативного воздействия на атмосферу при переводе котельных с одного вида топлива на другой // Вестник науки. 2024. Т. 1, № 2(71). С. 387-390.

3. Демченко В. Г., Дуняк О. В., Козак Д. В. Способ повышения экологических и тепловых характеристик отопительных котлов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2011. Т. 6, № 8(54). С. 23-25.

4. Оценка потенциала применения топливных брикетов с добавлением цеолита для снижения выбросов загрязняющих веществ в Забайкальском крае / А. Г. Батухтин, С. Г. Батухтин, В. И. Рудой, М. В. Кириллов // Энерго-сбережение и водоподготовка. 2023. № 1(141). С. 17-20.

APPLICATION OF A ZEOLITE-CONTAINING ROCK AS A FUEL ADDITIVE

Valery I. Rudoy
Assistant Professor,
valera_rud_99@mail.ru

Andrey G. Batukhtin
Doctor of Engineering Sciences, Professor,
batuhtina_ir@mail.ru

Trans-Baikal State University,
30 Aleksandro-Zavodskaya St., Chita, 672039, Russia

Abstract. The article addresses the pressing environmental issue of air pollution caused by the combustion of fossil fuels such as coal, fuel oil, and natural gas in the energy sector. Special attention is given to the influence of fuel quality on the volume of harmful emissions, including sulfur dioxide, nitrogen oxides, carbon dioxide, particulate matter, and toxic compounds. One of the promising solutions proposed is the use of fuel additives, particularly zeolite-containing rocks. The main mechanisms of zeolite action during combustion are described: adsorption of harmful substances, catalytic oxidation of hydrocarbons, and stabilization of the gas-phase composition. It is noted that the application of zeolite contributes to the reduction of pollutant emissions without significantly affecting the operating conditions of combustion systems. The study concludes that further experimental and analytical research is needed to support the practical implementation of this technology in the energy sector.

Keywords: zeolite, fuel additives, fossil fuel, air pollution, environmental safety, energy sector.

ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

© Сульtimiова Валентина Дампиловна

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В
elektrotexnika1962@mail.ru

Аннотация. В статье исследуется использование золошлаковых отходов в качестве сырья для получения высокоэффективных теплоизоляционных материалов с применением плазменной технологии. Рассмотрены экологические аспекты переработки золы и шлаков, актуальные в связи с ростом объемов их накопления на промышленных предприятиях. Приведены результаты экспериментальных исследований по плазменной переработке золошлаковых композиций, включая анализ влияния состава смесей и параметров плазменного воздействия на структуру и свойства получаемых материалов. Показано, что оптимально подобранные режимы плазменного синтеза позволяют создавать пористые теплоизоляционные материалы с высокой термостойкостью и улучшенными физико-химическими свойствами. Особое внимание уделено экологической безопасности технологии, обеспечивающей иммобилизацию тяжелых металлов в стеклоподобной матрице. Результаты работы показывают перспективность применения плазменных методов для переработки промышленных отходов в востребованные строительные материалы.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, плазменная переработка, теплоизоляционные материалы, экологически безопасные технологии, ресурсосбережение.

Современное строительство сталкивается с вызовами по повышению эффективности, качества и экологической безопасности, при этом стремясь снизить материалоемкость и капитальные затраты. Теплоизоляционные материалы играют важную роль в данном направлении [1, с. 61]. В исследовании рассматривается перспективное направление в создании теплоизоляционных материалов с использованием плазменной технологии из золы тепловых электрических станций.

Золошлаковые отходы образуются в больших объемах при сжигании угля на тепловых электростанциях, металлургических и химических производствах. Ежегодно в мире накапливается свыше 1 млрд. тонн золы и шлаков, из которых перерабатываются не более 30-50%. Остальное складывается в отвалах, что приводит к загрязнению почв и водоемов (выщелачивание тяжелых металлов – Pb, Cd, As, Hg), к пылевым выбросам, ухудшающим качество воздуха, а также деградации земель (занятие тысяч гектаров под золоотвалы). Директивы ЕС Стратегия РФ по промышленной экологии требуют утилизировать до 90% отходов к 2030 году. Перспективным направлением по утилизации можно отнести строительные материалы, например бетоны, кирпич,

утеплители, в которых можно использовать в составе до 40% золы. По направлению дорожное строительство золошлаковые композиты можно применить при укреплении грунтов, асфальт, при этом утилизировать есть возможность до 1,5 млн.т/год в РФ.

В качестве исходного материала берется зола Тугнуйского угля, которая имеет следующий химический состав (масс.%):

K_2O -2,15, Na_2O -0,58, SiO_2 -45,0, Al_2O_3 -14,6, P_2O_5 -0,93, CaO -12,62, MgO -9,05, TiO_2 -0,82, Fe_2O_3 -14,25.

Минеральные волокна, полученные по плазменной технологии, исследованы существующими методами:

1. Определение водостойкости;
2. Определение «содержания корольков»;
3. Метод определения среднего диаметра волокон;
4. Определение органического вещества;
5. Метод определения модуля кислотности;
6. Определение влажности.

Полученные плазменной технологией минеральная вата по данным исследований, имеет следующие физико-химические свойства: водостойкость (рН) 2,08; «содержание корольков» 22,5; средний диаметр 10,84 мкм; относительная влажность 0,128%; кислотостойкость 98,5%; щелочестойкость 97,71%; средняя длина волокон 60 мм; температуроустойчивость 1600⁰К; модуль кислотности 13,8%. Оптимальная температура составила 1400-1600⁰К, при которой выбранный способ является эффективным и экологически чистым. С увеличением диаметра волокон возрастает теплопроводность минеральной ваты. Так, при увеличении диаметра волокон с 3 до 12 мкм теплопроводность повышается до 10% [2, с. 100]. Установлено, что теплоизоляционные материалы изготовленные из более тонких волокон обладают лучшими теплофизическими свойствами, в том числе меньшей средней плотностью, большей упругостью, более высокой прочностью при изгибе и др. С другой стороны существует некоторый предел, после которого уменьшение диаметра волокон негативно сказывается на эксплуатационных и теплофизических свойствах волокнистых материалов. Это объясняется снижением жесткости и упругости очень тонких волокон, их слеживаемостью в процессе эксплуатации и, следовательно, ростом средней плотности и снижением пористости [3, с. 116].

Плазменная переработка обеспечивает комплексное экологическое решение, сочетающее ликвидацию накопленного ущерба, предотвращение будущего загрязнения, а также производство безопасных материалов с длительным жизненным циклом. Данная технология соответствует принципам циркулярной экономики и целям устойчивого развития. Плазменные технологии предлагают принципиально новое решение, обеспечивающее полную переработку исходных отходов, синтез продукции с высокой добавленной стоимостью.

Ключевые преимущества плазменной переработки золошлаковых отходов:

1. Экологическая эффективность:

а) полное обезвреживание опасных компонентов, при температуре выше 1500⁰С происходит термическое разложение токсичных органических соединений;

б) надежная фиксация тяжелых металлов в стекловидной матрице;

в) снижение выщелачиваемости токсинов на 2-3 порядка величины;

г) минимизация отходов, возможность переработки мелкодисперсных фракций.

2. Технологические преимущества:

а) гибкость процесса;

б) возможность обработки отходов с различным химическим составом;

в) регулировка параметров для получения материалов с заданными свойствами;

г) высокая производительность;

д) непрерывный режим работы установки.

3. Экономическая целесообразность:

а) доходность продукции, стоимость получаемых теплоизоляционных материалов в 3-5 раз выше исходного сырья;

б) возможность извлечения ценных компонентов;

в) снижение затрат, экономия на транспортировке при организации переработки на месте.

4. Энергетические аспекты:

а) эффективность использования энергии, высокий КПД плазменной установки.

5. Качество получаемых материалов:

а) улучшенные характеристики, низкая теплопроводность, высокая огнестойкость, улучшенные механические свойства;

б) долговечность.

6. Социально-экономические выгоды:

а) создание новых рабочих мест для обслуживания высокотехнологического оборудования;

б) улучшение экологической обстановки, снижение нагрузки на окружающую среду.

7. Соответствие глобальным трендам:

а) реализация принципов циркулярной экономики - это превращение отходов в ресурс;

б) замкнутый производственный цикл.

К перспективам развития плазменной переработки относится интеграция с системами искусственного интеллекта для оптимизации параметров, создание мобильных установок для переработки на месте и разработка новых композитных материалов на основе золы, создание гибридных плазменно-каталитических систем, интеграция в существующие технологические цепочки тепловые электрические станции и металлургических предприятий. Данная технология представляет собой пример успешного сочетания экологических, экономических и технологических преимуществ, обеспечивая комплексное решение проблемы утилизации промышленных отходов.

Литература

1. Получение теплоизоляционных материалов на основе диатомита и техногенных отходов методом гидратационного твердения / А. С. Хайруллина, А. Е. Матен, А. Б. Артыкбаева и др. // Горение и плазмохимия. 2024. Т. 22, № 3. С. 261-268.

2. Сульимова В. Д., Чмелева Л. О. О возможности получения теплоизоляционных материалов с улучшенными физико-химическими свойствами // Актуальные проблемы общества, экономики и права в контексте глобальных вызовов: материалы X Международной научно-практической конференции. Москва, 2022. С. 98-101.

3. Сульимова В. Д., Цыренова Л. Ц. Влияние низкотемпературной плазмы на физико-химические свойства теплоизоляционных материалов // Вызовы современности и стратегии развития общества в условиях новой реальности: материалы XVI Международной научно-практической конференции. Москва, 2023. С. 113-117.

PLASMA TECHNOLOGIES FOR PROCESSING ASH FROM THERMAL POWER PLANTS INTO BUILDING MATERIALS

Valentina D. Sultimova

Candidate of Technical Sciences, Head of the Department,
East Siberian State University of Technology and Management,
40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia,
elektrotexnika1962@mail.ru

Annotation. The article examines the use of ash and slag waste as a raw material for the production of highly efficient thermal insulation materials using plasma technology. The ecological aspects of ash and slag processing, relevant in connection with the increasing volume of their accumulation in industrial enterprises, are considered. The results of experimental studies on plasma processing of ash and slag compositions are presented, including an analysis of the effect of the composition of mixtures and plasma exposure parameters on the structure and properties of the materials obtained. It is shown that optimally selected plasma synthesis modes make it possible to create porous thermal insulation materials with high temperature resistance and improved physico-chemical properties. Special attention is paid to the environmental safety of the technology that ensures the immobilization of heavy metals in a glass-like matrix. The results of the work show the prospects of using plasma methods for processing industrial waste into demanded buildings.

Keywords: ash and slag waste, plasma processing, thermal insulation materials, environmentally friendly technologies, resource conservation.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

© Супалов Андрей Константинович
студент,
Сибирский федеральный университет,
660041, Россия, г. Красноярск, проспект Свободный, 79
supalov2006@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена применению искусственного интеллекта для прогнозирования в электроэнергетике, что становится всё более актуальным в условиях роста потребления электроэнергии в последние годы. Рассматриваются задачи прогнозирования в различных временных диапазонах и сравниваются два основных метода прогнозирования: линейное моделирование и метод на основе нейронных сетей. Также в статье раскрывается принцип работы нейронной сети в условиях задачи прогнозирования нагрузок. В конце теоретической части делаются выводы о преимуществах искусственного интеллекта над классическими методами. В практической части статьи описывается создание нейронной сети для прогнозирования средней мощности на следующий час на языке программирования Python. По результатам работы делается вывод об использовании нейронной сети в реальных производственных условиях.

Ключевые слова: прогнозирование нагрузок, точность, традиционные методы, нейронные сети, адаптивность, экономическая эффективность, синтетические данные, анализ ошибки.

Прогнозирование нагрузок в электрической сети всегда являлось важной составляющей исследования в электроэнергетике. В последнее время в связи с резким возрастанием темпов потребления электроэнергии этот вопрос становится всё более важным. Прогнозирование активно применяется для решения вопросов, связанных с текущим планированием и оперативным контролем за режимами работы электроэнергетической системы. С его помощью определяются как исходные, так и оптимальные параметры электрических режимов, а также проводится анализ их экономической эффективности, уровня надёжности и качества электроэнергии. Точность прогнозирования нагрузок играет ключевую роль в оптимизации загрузки оборудования, вырабатывающего электроэнергию, что напрямую влияет на себестоимость её производства [1]. Прогнозирование нагрузки проводится в различных временных диапазонах:

- 1) краткосрочный (от нескольких часов до недели);
- 2) среднесрочный (от одной недели до одного года);
- 3) долгосрочный (от одного года).

Рассмотрим конкретные примеры задач, решаемых с помощью прогнозирования в каждом из временных диапазонов. В краткосрочном и среднесрочном периодах наличие достаточно точного прогноза о пике нагрузки в опре-

делённое время может позволить принять правильное решение о выводе какого-либо оборудования в ремонт. В долгосрочном периоде прогнозирование нагрузок на несколько лет вперёд может помочь электросетевым компаниям заранее начать усиление отдельных участков сети, что в свою очередь позволит избежать значительных экономических убытков в будущем. Проблема прогнозирования в электроэнергетике играет важную роль не только для электросетевых компаний, но и для большинства крупных потребителей электроэнергии. В настоящее время крупным участникам рынка зачастую необходимо создавать рыночную стратегию и планировать потоки финансов. Для многих предприятий одной из самых важных статей расходов являются затраты на электроэнергию, а для некоторых они составляют более 50% от общего планируемого бюджета. В связи с этим, прогнозирование цен на электроэнергию становится для них одной из ключевых задач. Рассмотрим следующий пример эффективного применения методов прогнозирования цен на электроэнергию. Исходя из данных, полученных в результате прогнозирования почасовой цены на электроэнергию, предприятие могло бы выстроить такую стратегию, при которой достигается минимизация затрат на электроэнергию [2].

Далее рассмотрим методы прогнозирования. В течение большого количества времени единственным методом прогнозирования было линейное моделирование. Однако, как выяснилось при увеличении сложности решаемых задач, линейные методы могут показывать результат с большой точностью только при малом числе переменных, в иных случаях они не могут использоваться ввиду большой погрешности. Другим методом прогнозирования является метод нейронных сетей. В отличие от линейных методов, он может давать достаточно точные прогнозы даже в сложных задачах с большим количеством переменных. Это достигается за счёт учитывания скрытых зависимостей между данными на разном этапе их обработки. Пользователь передаёт данные о состоянии ключевых факторов, которые важны для решения задачи, и запускает процесс обучения. Нейронная сеть настраивает «веса» сигналов так, чтобы выходные значения максимально соответствовали реальным данным. При этом связь между входными и выходными параметрами может быть очень сложной. После многократного повторения этих действий нейронная сеть начинает выдавать результаты с высокой точностью. Для создания такой сети пользователю нужно обладать базовыми знаниями: понимать, как выбрать архитектуру сети, подготовить данные и интерпретировать результаты. Однако уровень навыков, необходимых для работы с нейронными сетями, значительно ниже, чем при использовании классических статистических методов [2, 3]. Ещё одним преимуществом использования нейронной сети в сравнении с традиционными методами прогнозирования является способность адаптироваться к меняющимся условиям задачи [3]. Это значит, что результаты, полученные в ходе работы нейронной сети, также будут учитываться ей при подборе «весов». Эта особенность нейронной сети позволяет существенно уменьшить трудовые затраты по сравнению с линейными алгоритмами, для адекватного функционирования которых регулярно приходи-

лось вручную переписывать алгоритм. Теперь рассмотрим принцип работы нейронной сети на примере предсказания пиковой нагрузки на следующие сутки. Нейронную сеть можно создать на основе таких систем компьютерной математики, как MatLab или SkiLab. Модель сети выбирается в зависимости от потребностей пользователя. Скорость вычислений может зависеть от разных факторов, например, от выбора вида нейронной сети, вида алгоритма оптимизации и объема обрабатываемых данных. В качестве входных параметров можно использовать продолжительность светового дня, тип дня (будний, выходной, праздничный), температуру воздуха, влажность, атмосферное давление и так далее. Следующим шагом необходимо загрузить большой объём исторических данных о пиковых нагрузках, для которых точно известны все перечисленные выше параметры. Далее нужно провести процесс обучения и, убедившись в том, что прогнозирование нагрузок происходит с большой точностью, можно использовать нейронную сеть для практического применения. Приведённый выше пример подходит для краткосрочного прогнозирования нагрузок. Для среднесрочного периода в качестве параметра можно добавить данные о пиковой нагрузке за неделю до рассматриваемого дня. Для долгосрочного периода необходимо учитывать тенденцию увеличения энергопотребления за последние несколько лет [4].

Исходя из всего выше сказанного можно сделать следующие выводы:

1) Проблема прогнозирования в электроэнергетике в последние годы становится всё более значимой в связи с увеличением темпов потребления электроэнергии.

2) Традиционные линейные методы в современных условиях не отвечают требованиям точности, что вынуждает электросетевые компании и крупных электропотребителей искать более эффективные способы для прогнозирования.

3) Таким способом является метод на основе применения искусственного интеллекта. Он имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционным методом: более высокая точность прогнозирования, простота в обслуживании, способность самостоятельно обучаться.

4) Внедрение метода прогнозирования на основе искусственного интеллекта рационально с точки зрения финансов, поскольку он позволит избежать экономических потерь в будущем.

5) Метод прогнозирования на основе искусственного интеллекта универсален, то есть может покрывать большой спектр задач.

Для демонстрации принципа работы искусственного интеллекта была разработана модель нейронной сети на языке программирования Python. Прогнозирование будет происходить на час вперёд с учётом того, что для него есть достаточно точный прогноз средней влажности, средней температуры, а также имеется информация о средней мощности в сети за предыдущие отрезки времени. Нейронная сеть имеет входной слой, два скрытых слоя, в каждом из которых 48 нейронов и выходной слой с одним нейроном с линейной активацией. В скрытых слоях используется функция активации ReLU (Rectified Linear Unit). Обучение сети осуществляется методом градиентного спуска с обратным распространением ошибки [4, 5]. Количество эпох выбрано 20000,

скорость обучения 0,01. Эти показатели оптимальны для решаемой задачи. Для тестирования нейронной сети были сгенерированы синтетические данные почасовой средней мощности в электрической сети. Они представляют собой 8760 строчек (для каждого из 365 дней года по 24 часа), в которых представлены соответствующие значения номера дня в году, номера часа в дне, температуры, влажности и средней мощности в этот час. Графическое отображение этих данных представлено на рис. 1.

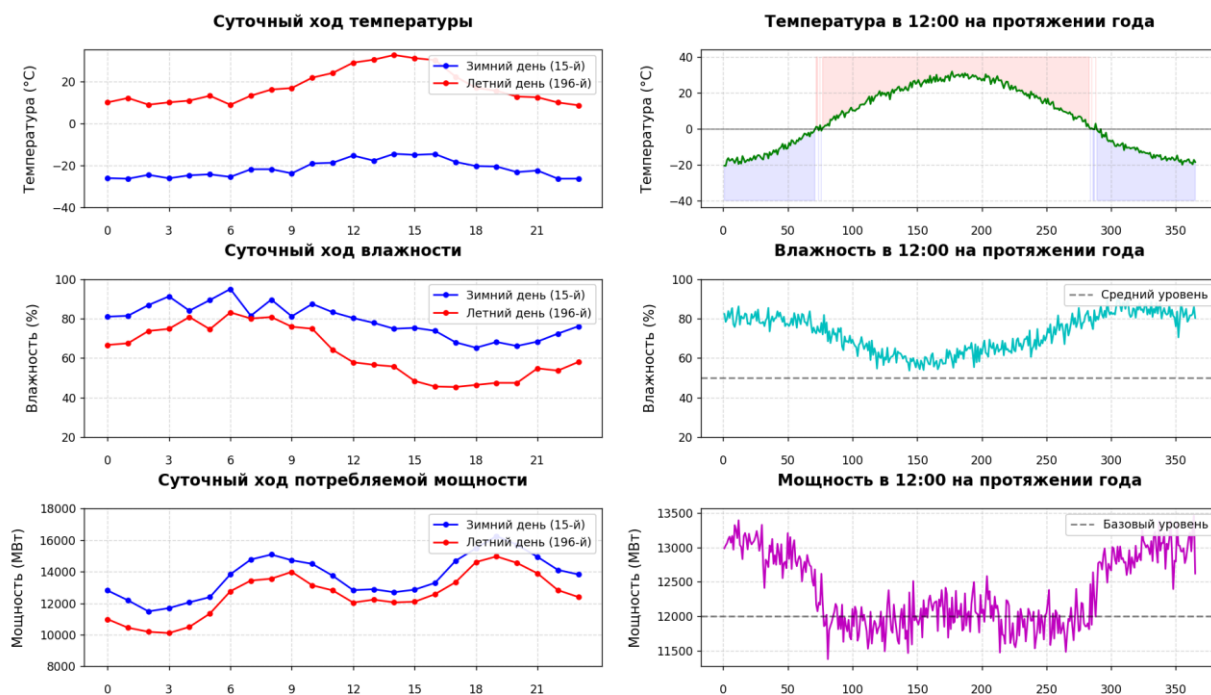


Рис. 1. Графическое представление синтетических данных

Как видно из графиков, синтетические данные достаточно хорошо передают значения всех показателей температуры и влажности с учётом условий сибирского климата. Особое внимание стоит обратить на графики мощности. Здесь представлен бытовой тип потребления электроэнергии. В течение дня наблюдаются два характерных пика потребления – утренний и вечерний – причём вечерний выражен сильнее, а также два спада потребления – ночной (более заметный) и дневной (менее заметный). В изменении потребления энергии на протяжении года учтены два эффекта: включение обогрева при низких температурах и включение кондиционирования в жаркие дни. Также учтены случайные отклонения всех величин, которые наблюдаются в реальных условиях.

Эти синтетические данные достаточно хорошо описывают ключевые зависимости между всеми параметрами с учётом условий Сибири, поэтому они могут использоваться для тестирования нейронной сети. В них присутствуют два основных допущения: во-первых, все дни считаются одинаковыми, то есть не учитываются выходные и праздничные дни, во-вторых, отсутствуют какие-либо аномалии, например, понижение температуры до 0 в летний пе-

риод. Но для проведения тестов работы нейронной сети эти допущения приемлемы.

Далее все синтетические данные разбиваются на две выборки: первая для обучения нейронной сети, вторая для тестирования. В первую выборку попадают 358*24 строк данных, то есть данные за 358 дней года. С этой выборкой производится процесс обучения. В качестве входных параметров используются значения температуры, влажности, мощности за 1, 2, 4, 24, 168 часов до рассматриваемого часа, изменения мощности за последние несколько часов и за неделю, идентификаторы низких и высоких температур, значения номера дня и номера часа, значения различных математических функций от этих параметров (для учитывания цикличности потребления), таких как синус, косинус, логарифм, экспонента, а также произведения некоторых из перечисленных выше параметров. В процессе обучения настраиваются веса каждого из этих сигналов так, чтобы результат максимально соответствовал значению средней мощности за этот час [5].

Для тестирования используются данные за последнюю неделю, то есть 168 тестовых точек. Данные почасовой средней мощности у нейросети «забираются» и называются фактической мощностью, чтобы впоследствии использовать их для анализа результата. Нейросеть используя все перечисленные в предыдущем абзаце параметры генерирует прогноз, который сравнивается с фактическим значением.

Результатом работы программы является список из 168 строк, в которых содержится информация о прогнозе нейронной сети, фактическом значении мощности и ошибке прогноза в процентах. На рис. 2 приведены данные для первых 29 контрольных точек. Средняя ошибка, посчитанная как среднее арифметическое ошибок каждой тестовой точки, равняется 1,73%. При повторной работе нейронной сети средняя ошибка колеблется в пределах 1,5-2%, что является достаточно точным результатом.

В использованных для тестирования нейросети синтетических данных достаточно хорошо наблюдаются принципиальные взаимосвязи между всеми параметрами, они вполне могут реализоваться на территории Сибири. Поэтому адаптация нейронной сети под конкретные производственные условия и замена синтетических данных реальными не должны отразиться на точности прогнозирования.

Средняя ошибка: 1.73%

Час 0:	Прогноз = 12401.62,	факт = 12842.11,	Ошибка = 3.43%
Час 1:	Прогноз = 12150.95,	факт = 12138.32,	Ошибка = 0.10%
Час 2:	Прогноз = 11868.08,	факт = 11898.68,	Ошибка = 0.26%
Час 3:	Прогноз = 11725.99,	факт = 12184.72,	Ошибка = 3.76%
Час 4:	Прогноз = 12000.45,	факт = 11589.19,	Ошибка = 3.55%
Час 5:	Прогноз = 12453.78,	факт = 12834.69,	Ошибка = 2.97%
Час 6:	Прогноз = 13851.97,	факт = 14030.31,	Ошибка = 1.27%
Час 7:	Прогноз = 14469.03,	факт = 14732.89,	Ошибка = 1.79%
Час 8:	Прогноз = 15066.73,	факт = 14970.64,	Ошибка = 0.64%
Час 9:	Прогноз = 14780.50,	факт = 15039.60,	Ошибка = 1.72%
Час 10:	Прогноз = 14197.26,	факт = 14461.70,	Ошибка = 1.83%
Час 11:	Прогноз = 13693.91,	факт = 13210.17,	Ошибка = 3.66%
Час 12:	Прогноз = 12930.19,	факт = 13664.34,	Ошибка = 5.37%
Час 13:	Прогноз = 12911.65,	факт = 12898.10,	Ошибка = 0.11%
Час 14:	Прогноз = 12883.36,	факт = 12819.04,	Ошибка = 0.50%
Час 15:	Прогноз = 13195.43,	факт = 13134.39,	Ошибка = 0.46%
Час 16:	Прогноз = 13672.01,	факт = 13900.35,	Ошибка = 1.64%
Час 17:	Прогноз = 14856.40,	факт = 14552.71,	Ошибка = 2.09%
Час 18:	Прогноз = 15705.64,	факт = 15652.85,	Ошибка = 0.34%
Час 19:	Прогноз = 16397.67,	факт = 16327.78,	Ошибка = 0.43%
Час 20:	Прогноз = 16094.73,	факт = 16311.13,	Ошибка = 1.33%
Час 21:	Прогноз = 15151.89,	факт = 15109.39,	Ошибка = 0.28%
Час 22:	Прогноз = 14297.93,	факт = 14837.40,	Ошибка = 3.64%
Час 23:	Прогноз = 14074.41,	факт = 13916.20,	Ошибка = 1.14%
Час 24:	Прогноз = 12693.70,	факт = 12895.58,	Ошибка = 1.57%
Час 25:	Прогноз = 12230.56,	факт = 12385.44,	Ошибка = 1.25%
Час 26:	Прогноз = 11751.61,	факт = 11807.32,	Ошибка = 0.47%
Час 27:	Прогноз = 11803.08,	факт = 11707.91,	Ошибка = 0.81%
Час 28:	Прогноз = 11816.44,	факт = 11699.72,	Ошибка = 1.00%

Рис. 2. Результат работы нейронной сети

Использование нейронной сети позволяет повысить точность прогнозов и снизить экономические риски. Однако для дальнейшего развития темы необходим опыт её адаптации к конкретным производственным условиям. Сопоставление с зарубежными аналогами показывает, что в России внедрение таких технологий находится на начальном этапе. Это подчеркивает важность изучения этой темы и разработки новых решений для повышения эффективности энергосистем.

Литература

1. Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении электроэнергетическими системами на основе нейросетевых структур. URL: http://energy.komisc.ru/downloads/docs/prognozirovanie_jelektricheskikh_nagruzok_pri_operativnom_upravlenii_jelektrojenergeticheskimii_sistemami_na_osnove_nejrosetevyh_struktur.pdf [дата обращения: 14.11.2024].
2. Преимущества использования искусственных нейронных сетей в прогнозировании энергопотребления и цен на электроэнергию. URL: <https://moluch.ru/archive/413/91242/?ysclid=m3pp8i6mxc292321305> [дата обращения: 16.11.2024].
3. Использование искусственного интеллекта в управлении энергосистемами. URL: <https://scilead.ru/article/4847-ispolzovanie-iskusstvennogo-intellekta-v-upra> [дата обращения: 20.11.2024].

4. Алферова Т. В., Трохова Т. А. Компьютерное прогнозирование электрических нагрузок методами нейронных сетей. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternoe-prognozirovanie-elektricheskikh-nagruzok-metodami-neyronnyh-setey/viewer> [дата обращения: 16.04.2025].

5. Зажогин С. Д., Вишняков А. С., Козлова Ю. Д. Применение LSTM нейронных сетей для прогнозирования и управления ресурсами в AWS. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-lstm-neyronnyh-setey-dlya-prognozirovaniya-nagruzki-i-upravleniya-resursami-v-aws/viewer> [дата обращения: 18.04.2025]

ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED FORECASTING PROGRAM IN THE ELECTRIC POWER INDUSTRY

Andrey K. Supalov

student,

Siberian Federal University,

79 Svobodny Avenue, Krasnoyarsk, 660041, Russia

supalov2006@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the use of artificial intelligence for forecasting in the electric power industry, which is becoming increasingly relevant in the context of increasing electricity consumption in recent years. Forecasting tasks in different time ranges are considered and two main forecasting methods are compared: linear modeling and a method based on neural networks. The article also reveals the principle of operation of a neural network in the context of a load forecasting task. At the end of the theoretical part, conclusions are drawn about the advantages of artificial intelligence over classical methods. The practical part of the article describes the creation of a neural network for predicting the average power for the next hour in the Python programming language. Based on the results of the work, a conclusion is drawn about the use of a neural network in real production conditions.

Keywords: load forecasting, accuracy, traditional methods, neural networks, adaptability, cost-effectiveness, synthetic data, error analysis.

Научная статья
УДК 004.932.2
DOI 10/18101/978-5-9793-2065-6-87-93

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ИЗОБРАЖЕНИЙ

© **Чимитова Елена Гендуновна**
кандидат педагогических наук, доцент
chimitova@gmail.com

© **Цыбиков Никита Дашиевич**
студент
mega.tsybikov@inbox.ru

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В

Аннотация. Разработанное веб-приложение системы мониторинга изображений может быть применено в системе «Безопасный город» для обнаружения, отслеживания, классификации уличных собак. Модель, основанная на специальной архитектуре сверточной нейронной сети, демонстрирует высокую скорость обнаружения объектов в реальном времени за счет однопроходного способа анализа изображений. Задачу детекции решает модель компьютерного зрения YOLO. Модель высоко производительна для задач, где положение объектов в кадре очень быстро меняется.

Ключевые слова: детектирование, обучение модели, видеопоток, архитектура приложения.

Введение

Актуальность разработки такой системы обусловлена необходимостью внедрения современных технологий в сферу контроля за популяцией уличных собак. Применение искусственного интеллекта и облачных платформ дает возможность фиксировать текущее состояние, прогнозировать динамику распространения животных. Это предоставляет возможность специальным службам, ветеринарным организациям, зоозащитникам, а также гражданам принимать определенные решения.

В этих условиях разработка инструмента мониторинга, способного отслеживать ключевые параметры (численность, перемещение, состояние здоровья) уличных собак, приобретает особую значимость.

На рынке представлены решения для мониторинга различных живых и неживых объектов. Некоторые решения представляют собой встроенное программное обеспечение для умных камер и видеорегистраторов. Другие системы выступают в роли облачных платформ.

Система мониторинга уличных собак представляет собой программное обеспечение, предназначенное для сбора, обработки видеопотоков с уличных видеокамер и детекции безнадзорных животных в городской среде. Система

использует технологии компьютерного зрения и трекинга объектов в видеопотоке для распознавания, отслеживания перемещений собак во временном отрезке.

Описание системы мониторинга: архитектура, функции и технологии

Основные функции системы:

- сбор видеопотоков: система мониторинга собирает видеопотоки из источников для охвата территории. Основными источниками являются городские камеры видеонаблюдения, установленные на улицах, в парках и других общественных местах;
- препроцессинг видеопотоков: перед детекцией все видеопотоки проходят обязательную предварительную обработку. На этом этапе система стабилизирует изображение, устраняя последствия неточностей съемки камеры и иные артефакты. Для оптимизации производительности видеопотоки сжимаются с сохранением ключевых деталей;
- детекция собак моделью компьютерного зрения: ядром системы является модель компьютерного зрения, специально обученная для распознавания собак. Особые алгоритмы трекинга позволяют отслеживать перемещение одной и той же особи между кадрами;
- визуализация результатов детекции: система обеспечивает вариант представления данных в виде дашборда. Пользователи могут просматривать динамику изменения численности животных через временные графики с возможностью выбора различных временных интервалов.

Подсистема сбора видеопотоков отвечает за бесперебойную передачу качественного видео в систему мониторинга. Она работает с разными источниками: уличными камерами наблюдения, IP-камерами, видеосерверами и облачными хранилищами, то есть с любыми устройствами, которые могут передавать видео в реальном времени. Для эффективного взаимодействия с различными источниками система поддерживает широкий набор протоколов передачи данных, таких как: RTSP (Real-Time Streaming Protocol), RTMP (Real-Time Messaging Protocol), HLS (HTTP Live Streaming), SRT (Secure Reliable Transport), WebRTC (Web Real-Time Communication). При поддержке различных протоколов, интеграция множества частных и муниципальных источников видеонаблюдения станет очень удобной и расширенной, что существенно увеличивает возможности мониторинга.

Для обеспечения минимальной задержки при передаче видеопотока реализованы механизмы оптимизации сетевых соединений, такие как буферизация, управление пропускной способностью и использование легковесных кодеков.

Для масштабируемости системы обеспечивается общее управление видеопотоками, позволяющее добавлять новые источники, настраивать параметры подключения и осуществлять контроль состояния каждого из них через единый интерфейс администрирования. Все видеопотоки сопровождаются информацией о себе: идентификатором камеры, географическими координатами и информацией о состоянии соединения.

Реализована регистрация событий, связанных с работой подсистемы: успешное или неудачное подключение к камере, длительность простоя, качество сигнала и прочие параметры для диагностики и оптимизации. Все собранные видеопотоки преобразуются в унифицированный формат, совместимый с последующими этапами обработки, в том числе с моделями компьютерного зрения, что позволяет стандартизировать работу всей системы и повысить ее надежность.

Подсистема детекции объектов представляет собой ядро системы компьютерного зрения, отвечающее за распознавание уличных собак на видеопотоках. Основой подсистемы выступает архитектура компьютерного зрения YOLO (You Only Look Once), которая является лучшей в плане высокой скорости работы распознавания различных объектов и приемлемой точностью в задачах реального времени. Модель обучена на репрезентативной выборке изображений уличных собак, учитывающей различные условия внешней среды: освещение, погодные факторы (дождь, снег, туман), ракурсы и положение животных в кадре.

Для повышения точности распознавания объектов в кадре нужно использовать видеопотоки как можно в лучшем качестве с точки зрения равномерного распределения кадров в секунду в каждый момент времени. Кроме того, необходимо внедрить алгоритм трекинга объектов – например: ByteTrack или DeepSORT. Алгоритм трекинга будет следить за перемещением собак между кадрами и исключать повторный подсчет одного и того же объекта. Это важно при анализе передвижений животных в зоне действия камеры, так как правильная детекция напрямую влияет на количество уникально распознанных объектов.

Результаты детекции сохраняются в базе данных в виде информации следующих параметров: тип объекта, координаты, уровень уверенности, дата и время нахождения объекта, идентификатор или координаты камеры, уникальный идентификатор объекта. Затем данные передаются в подсистему визуализации для формирования графиков.

Для обеспечения отказоустойчивости подсистема детекции имеет механизмы обработки ошибок: перезапуск моделей в случае сбоя, автоматическое переключение на резервные серверы, запись результатов работы и мониторинг загрузки вычислительных ресурсов. Также предусмотрена возможность использования ускорения графическим процессором, если доступны соответствующие ресурсы, что значительно повысит производительность и снизит время обработки видеопотока.

Подсистема визуализации выполняет роль пользовательского интерфейса, через который заинтересованные лица такие как представители городских властей, сотрудники приютов для животных, волонтеры и другие пользователи могут просматривать результаты анализа видеопотоков и принимать обоснованные управленческие или личностные решения. Главная часть этой подсистемы – панель управления, где всё собрано в одном месте.

Основным компонентом панели управления является информационная панель (дашборд), которая отражает состояние системы и результаты анализа.

Дашборд состоит из графиков и диаграмм, которые показывают изменения численности животных во времени и по дате. Графики и диаграммы могут менять свою форму представления по желанию пользователя в зависимости от типа задачи, которую он решает.

Также все данные могут дублироваться в таблицах. Табличная информация показывает пользователям детальные данные по каждой камере: дата и время последнего обнаружения животного, общее количество собак за выбранный период и другие параметры.

Для наглядности процесса детекции в панель добавлен интерфейс (окно с видеопотоком) для просмотра видеопотока в реальном времени. В видеопотоке могут отображаться выделенные границы силуэта обнаруженных животных, что поможет пользователям быстро увидеть распознанные объекты.

Для результативного и оперативного анализа информации реализована функция фильтрации, которая позволяет форматировать вывод информации по различным критериям: временному периоду, местоположению, типу источника видеопотока. Обновление происходит автоматически, без необходимости ручного обновления страницы, что повышает оперативность принятия решений.

Результаты анализа видеопотоков сохраняются для долгосрочного хранения и последующего использования. Для этих целей предусмотрено использование системы хранения данных, записывающей все события обнаружения животных. Система обеспечивает быстрый доступ к информации и поддерживает формирование отчетов по заданным параметрам. Пользователи могут скачивать данные в универсальных форматах в виде таблиц и документов и использовать их для внутренней отчетности или предоставления информации внешним организациям.

Для разработки проекта используется современный набор технологий, используемый для задач компьютерного зрения.

Задачу детекции решает модель компьютерного зрения YOLO. Модель, основанная на специальной архитектуре сверточной нейронной сети, демонстрирует высокую скорость обнаружения объектов в реальном времени за счет однопроходного способа анализа изображений. Благодаря этому модель YOLO чрезвычайно производительна для областей задач, где быстрые изменения положения объектов в кадре считаются нормальным изначальным условием.

Модель предоставляет возможность изменения правил классификации объектов, то есть может осуществлять обучение модели на детекцию иных объектов, ранее неизвестных для ее алгоритмов обнаружения.

Уличные видеокамеры обычно имеют широкий видеокадр для охвата больших площадей городской территории. Поэтому при разработке проекта поднимается вопрос обучения модели под нетривиальную ситуацию, при которой объекты для детекции чаще всего располагаются в кадре на среднем и, особенно, на дальнем плане. Пример необычной ситуации для стандартной модели детекции показан на рисунке 1.



Рис. 1. Пример необычной ситуации

Собаки находятся в кадре на всех планах, некоторые из них запечатлены в нестандартных позах и имеют размытый силуэт. Для задачи детекции объектов на таком кадре в видеопотоке требуется обучение модели.

Обучение модели компьютерного зрения происходит на подготовленном количестве размеченных изображений собак. Разметка изображений требуется для вычленения силуэта объекта из общего изображения, таким образом обучаемая модель будет учиться выделять объект из всего кадра. Пример разметки изображений показан на рисунке 2.

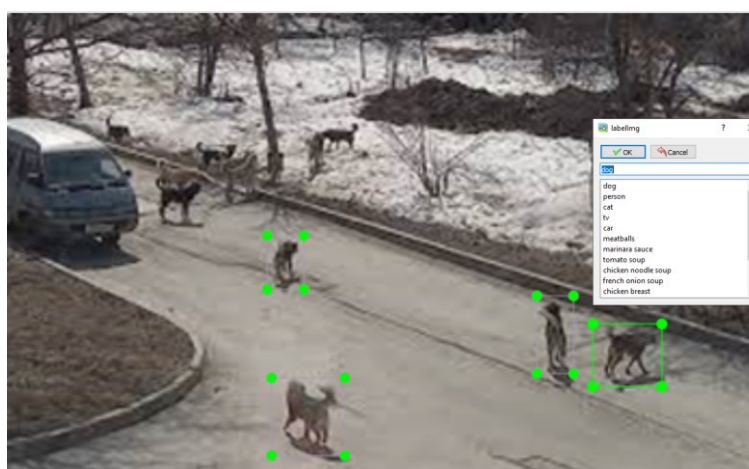


Рис. 2. Пример разметки изображений

В процессе разметки важно учитывать, то что объекты способны принимать различные формы в пространстве, например, собаки умеют лежать, сидеть, поворачиваться к объективу любой стороной тела и могут располагаться в разных частях кадра. Поэтому следует подбирать набор изображений (датасет) пропорционально всевозможным положениям объекта в кадре. Собранный датасет отправляется на обучение модели компьютерного зрения.

Панель мониторинга состоит из различных видов графиков, отображающих статистическую информацию из базы данных. Графики показывают количество детекций собак за определенные хронологические промежутки. Об-

новление панели происходит циклично через установленные временные отметки. В дополнение имеется возможность просматривать видеопотоки с работающей детекцией моделью компьютерного зрения. Пример работы панели с окном видеопотоков изображен на рисунке 3.



Рис. 3. Панель мониторинга с окном видеопотоков

Заключение

Предметный анализ выявил существующую проблему потенциальной опасности, исходящей от беспризорных собак. Уличные животные являются тревожным фактором для инфраструктуры и социальной жизни городов. Система мониторинга внесет долю безопасности лицам, находящимся рядом с вероятным риском нападения псов. Программное приложение может служить работникам службы отлова или же гражданам, чьи пути передвижения проходят через опасные участки. Мониторинг позволяет наблюдать за жизнедеятельностью животных, быть осведомленным о их численности за определенный хронологический промежуток. Использование системы позволит улучшить безопасность городской среды.

Литература

1. Кузнецов Д. С., Морозова И. И. Компьютерное зрение. Современные методы и библиотеки. Москва: ДМК Пресс, 2023. 400 с.
2. Полуэктова Н. Р. Разработка веб-приложений: учебник для вузов. Москва: Юрайт, 2024. 204 с. URL: <https://urait.ru/bcode/567610> (дата обращения: 13.11.2024).

INTELLIGENT IMAGE MONITORING SYSTEM

Elena G. Chimitova

candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
chimitova@gmail.com

Nikita D. Tsybikov

student,
mega.tsybikov@inbox.ru

East Siberia State University of Technology and Management
40V Klyuchevskaya Street, Ulan-Ude, 670013, Russia

Abstract. The developed web application of the image monitoring system can be used in the "Safe City" system for detection, tracking, classification of street dogs. The model, based on a special architecture of the convolutional neural network, demonstrates a high speed of detection of objects in real time due to a single-pass method of image analysis. The detection task is solved by the YOLO computer vision model. The model is highly productive for tasks where the position of objects in the frame changes very quickly.

Keywords: detection, model training, video stream, application architecture.

Научная статья

УДК 621.316.9

DOI 10/18101/978-5-9793-2065-6-94-99

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

©Данеев Валерий Васильевич

кандидат технических наук, доцент,
dvv_espp@mail.ru

©Дашеев Дмитрий Евгеньевич

кандидат педагогических наук, доцент,
dasheevd@mail.ru

©Пнёв Михаил Сергеевич

студент,
mikhail.pnev1@mail.ru

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В

Аннотация. Рассмотрено совершенствование защит электрических двигателей, в частности токовых отсечек, с акцентом на повышение их чувствительности. В работе анализируется традиционный подход к отстройке токовых отсечек для защиты электродвигателей, основанный на учете пускового тока электродвигателя. Показано, что такой метод обладает невысокой чувствительностью защиты, что существенно снижает эффективность защиты электродвигателей. Предложены ряд схем токовых отсечек для защиты электродвигателей, которые позволяют отстроить ток срабатывания от номинального тока электродвигателя. Отстройка от номинального тока электродвигателя дает возможность установить меньший ток срабатывания, что значительно повышает чувствительность токовой отсечки к коротким замыканиям, что повышает надежность работы защиты электродвигателя. Результаты исследования имеют важное прикладное значение для проектирования и эксплуатации релейной защиты электрических двигателей.

Ключевые слова: электродвигатель, защита электрических двигателей, токовая отсечка, ток срабатывания, чувствительность защиты.

Введение

Токовая отсечка (далее – ТО) в настоящее время является одной из основных защит высоковольтных и крупных низковольтных электродвигателей. ТО может выполняться с реле РТ-40, с реле на интегральных микросхемах РСТ, с реле РТ-82, РТ-84, РТ-85, с реле прямого действия РТМ, а также микропроцессорными защитами. Простота схемы, простота выбора параметров обеспечили широкое использование ТО для защиты электродвигателей.

Однако недостатком ТО является невысокая чувствительность защиты из-за отстройки тока срабатывания отсечки от пускового тока электродвигателя,

что влечёт за собой недостаточно высокую надёжность работы защиты при коротких замыканиях (далее – КЗ) [1-3].

Ток срабатывания отсечки:

$$I_{сз} = k_n * I_{пуск}, \quad (1)$$

где k_n – коэффициент надёжности, $k_n = 1,8 \div 2,0$ в зависимости от типа реле; $I_{пуск}$ – пусковой ток электродвигателя.

Пусковой ток электродвигателя:

$$I_{пуск} = k_n * I_{ном.дв}, \quad (2)$$

где k_n – коэффициент пуска, $k_n = 5 \div 7$; $I_{пуск}$ – пусковой ток электродвигателя.

Из этих выражений видно, что ток срабатывания ТО электродвигателей может быть в 9 – 14 раз больше, чем номинальный ток электродвигателей, и отсюда очевидна очень низкая чувствительность ТО к КЗ. Практически ТО не будет чувствовать такой коварный вид повреждения, как витковые замыкания в обмотках электродвигателей.

Данный недостаток заложен в принцип действия защиты в принцип действия защиты, а именно в том, что селекцию коротких замыканий ТО производит по разнице между токами КЗ и пусковым тока электродвигателя. Поэтому актуальной и перспективной является разработка других принципов защиты, позволяющих отличать указанные режимы.

Основная часть

В работе рассматриваются следующие способы выполнения защиты электродвигателей:

1. Внести в схему защиты изменения, дополнительные органы, которые позволили бы производить отстройку ТО не от пускового тока, а от номинального тока электродвигателя. Это дает возможность установить ток срабатывания намного меньше, что значительно повышает чувствительность ТО к КЗ, а значит повышает надёжность работы защиты электродвигателя.

Этот способ различает режимы коротких замыканий и пусковой режим электродвигателя по количественному изменению параметров.

2. Различать указанные режимы по качественному изменению параметров. Другими словами, отличается ли пусковой ток от тока КЗ, например, по гармоническому составу, величиной аperiodической составляющей, по скорости нарастания, по частоте и т.д.

В основе такого подхода лежит следующее предположение. Известно, что силовой трансформатор – это электрический двигатель, только заторможенный. Поэтому пусковой ток может быть аналогом броска тока намагничивания в питающей обмотке трансформатора [4].

В работе предусматриваются схемы ТО, которые позволяют отстроить ток срабатывания её не от пускового тока, а от номинального тока электродвигателя. Идея данного способа заключается в том, что при пуске электродвигателя (до него) на нём нет напряжения, а при КЗ в нём напряжение присутствует всегда.

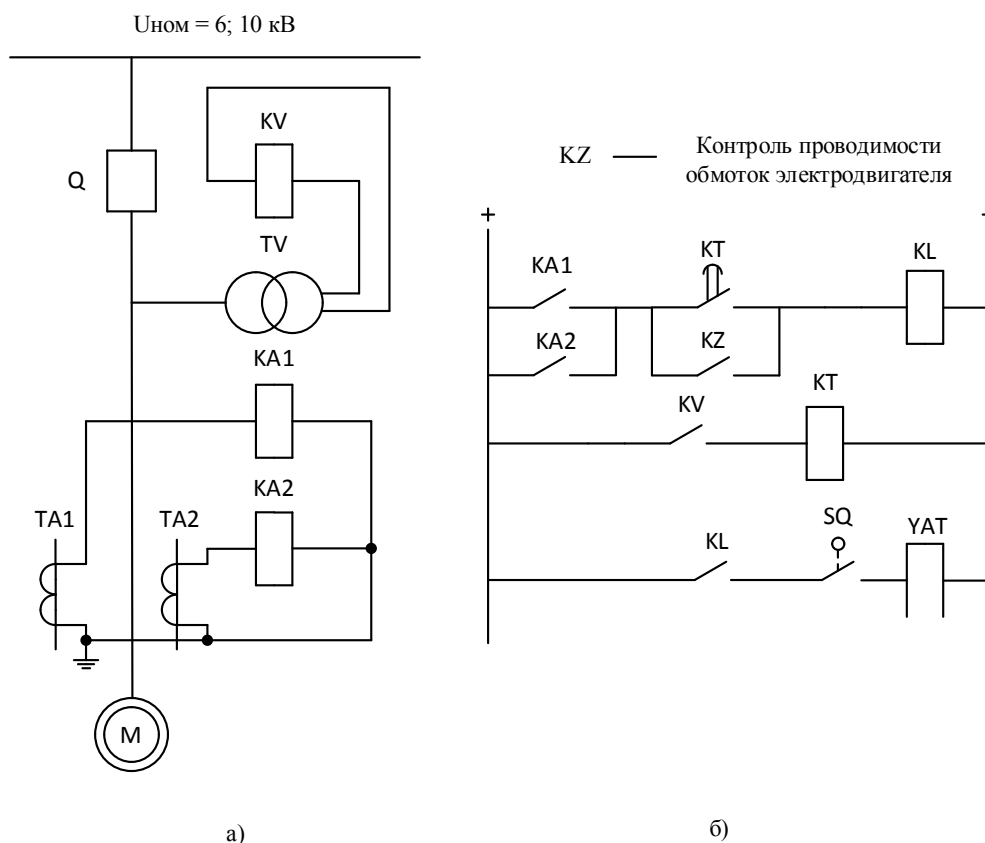


Рис. 1. Схема токовой отсечки с реле напряжения:
 а – цепи переменного тока и напряжения;
 б – цепи постоянного тока

На рис. 1 рассмотрена схема защиты, где в качестве индикатора наличия напряжения на электродвигателе используется максимальное реле напряжения KV. При КЗ на работающем электродвигателе контакты реле напряжения KV и реле времени KT замкнуты, ТО сработает мгновенно и отключит электродвигатель. При этом при КЗ напряжение на электродвигателе понизится, и реле напряжения может разомкнуть свой контакт, поэтому реле времени KT должно иметь замедление на возврат. При пуске электродвигателя напряжение на нём до пуска отсутствует.

При эксплуатации электродвигателя возможен такой случай. При отключенном электродвигателе в его обмотках возможен пробой изоляции или замыкание между фазами. Нужно отметить, что такой режим маловероятен. Тем не менее, при включении электродвигателя может возникнуть замыкание на корпус или короткое замыкание. Для отключения электродвигателя в этом режиме в ТО предусмотрено реле контроля изоляции KZ, которое будет срабатывать при наличии повреждения в нём, замыкая его контакт. При пуске электродвигателя защита без выдержки времени отключит электродвигатель.

Защита отстроена от пускового режима по времени:

$$t_{ср.КТ} > t_{пуска}, \quad (3)$$

Напряжение срабатывания реле KV нужно отстроить от остаточного напряжения при самозапуске электродвигателя, так как при самозапуске напряжение на выводах двигателя падает и защита не должна сработать:

$$U_{\text{ср}} = \frac{U_{\text{ост.сз}}}{k_{\text{н}} * n_{\text{ТВ}}}, \quad (4)$$

где $U_{\text{ост.сз}}$ – остаточное напряжение при самозапуске электродвигателя; $k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности, $k_{\text{н}} = 1,2 \div 1,3$; $n_{\text{ТВ}}$ – коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Можно использовать блок-контакт выключателя SQ вместо реле напряжения. Схема защиты получается проще и дешевле, не нужен трансформатор напряжения. Схема ТО показана на рисунке 2.

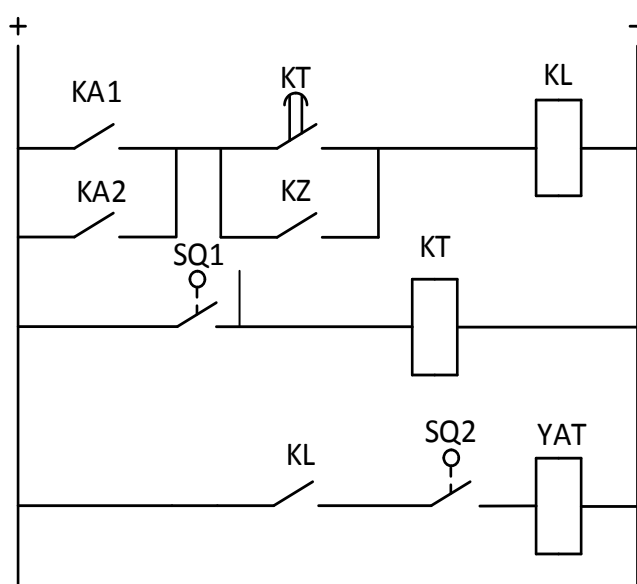


Рис. 2. Схема токовой отсечки без реле напряжения

Для защиты крупных низковольтных электродвигателей в схему управления добавляется реле времени КТ2, включаемое через вспомогательный контакт магнитного пускателя и контактора (рис. 3).

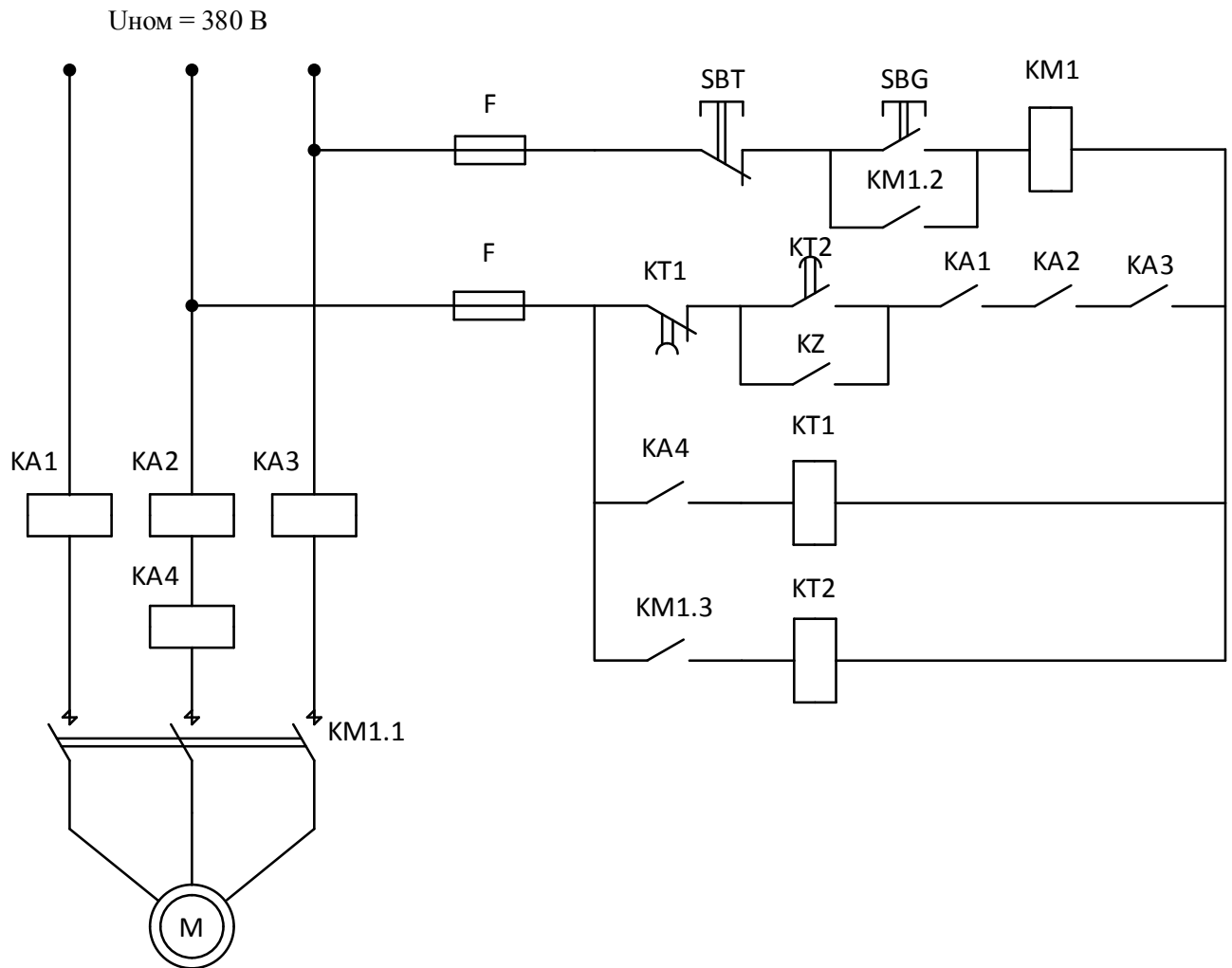


Рис. 3. Схема токовой отсечки низковольтного электродвигателя

Ток срабатывания ТО нужно отстраивать не от пускового тока, а от номинального тока электродвигателя:

$$I_{сз} = k_n * I_{ном.дв}, \quad (5)$$

где k_n – коэффициент надежности, $k_n = 1,1 \div 1,2$.

При этом чувствительность предложенной защиты повышается в несколько раз, и она может почувствовать даже витковые замыкания в обмотках электродвигателя.

Заключение

Предложенные схемы токовых отсечек для защиты электродвигателей позволяют отстроить ток срабатывания от номинального тока электродвигателя. Отстройка от номинального тока электродвигателя дает возможность установить ток срабатывания намного меньше, чем при отстройке от пускового тока, что значительно повышает чувствительность токовой отсечки к коротким замыканиям.

Литература

1. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика системы электроснабжения. Москва: Высшая школа, 2007. 639 с.
2. Беркович М. А., Молчанов В. В., Семенов В. А. Основы техники релейной защиты. Москва: Изд-во Энергоатомиздат, 1984. 376 с.
3. Райнин В. Е., Кобозев А. С., Серeda А. Г. Построение новых защит на основе анализа характера изменения суммарной мгновенной мощности при возмущении электрической цепи // Электротехника. 2015. № 4. С. 2–4.
4. Александров А. М. Выбор уставок срабатывания защит двигателей напряжением выше 1 кВ. Москва: НТФ «Энергопрогресс», 1998. 56 с.

INCREASING THE SENSITIVITY OF CURRENT PROTECTION SYSTEMS FOR ELECTRIC MOTORS

Valery V. Daneev

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
dvv_espp@mail.ru

Dmitry E. Dasheev

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
dasheevd@mail.ru

©*Mikhail S. Pnev*

Student,
mikhail.pnev1@mail.ru

East Siberian State University of Technology and Management
40V Klyuchevskaya, Ulan-Ude, 670013, Russia

Abstract. This paper examines improvements to electric motor protection, particularly current cutoffs, with an emphasis on increasing their sensitivity. The paper analyzes the traditional approach to adjusting current cutoffs for electric motor protection, based on taking into account the motor's starting current. It is shown that this method has low protection sensitivity, which significantly reduces the effectiveness of electric motor protection. A number of current cutoff circuits for electric motor protection are proposed that allow the tripping current to be adjusted based on the motor's rated current. Adjusting the tripping current based on the motor's rated current allows for setting a lower tripping current, significantly increasing the sensitivity of the current cutoff to short circuits and enhancing the reliability of the motor protection. The research results have important practical implications for the design and operation of relay protection for electric motors.

Keywords: electric motor, electric motor protection, current cutoff, tripping current, protection sensitivity.

Научная статья

УДК 621.3.062.12

DOI 10/18101/978-5-9793-2065-6-100-104

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНХРОНИЗАЦИИ ГЕНЕРАТОРА С СЕТЬЮ В СРЕДЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMINTECH

© Александров Николай Васильевич

кандидат технических наук, доцент

alexandrov-88@mail.ru

© Плешков Данил Юрьевич

преподаватель,

pleshkov.danil.1947@mail.ru

© Агнаев Степан Сергеевич

преподаватель,

stephanagnaev02@gmail.com

© Дондуков Саян Дмитриевич

преподаватель,

dondukov.s@yandex.ru

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В

Аннотация. В данной работе рассматриваются методологические и практические аспекты моделирования процессов синхронизации синхронного генератора с электрической сетью на основе применения среды динамического моделирования SimInTech. Представлена структурная схема модели, охватывающая основные элементы электромеханической и электрической части генераторной установки, включая возбудитель, синхронизирующее устройство и элементы системы автоматического регулирования. Проведено исследование переходных процессов при подключении генератора к сети. Моделирование выполнено с целью оценки временных характеристик процесса синхронизации и анализа полученных результатов. Полученные результаты подтверждают эффективность применения среды SimInTech для анализа и отладки алгоритмов управления синхронными генераторами в составе энергосистем.

Ключевые слова: Синхронный генератор, синхронизация, SimInTech, моделирование, энергосистема, переходные процессы, устойчивость

Введение

Процесс синхронизации синхронного генератора с сетью играет ключевую роль в обеспечении устойчивой и надежной работы электроэнергетических систем. Ошибки на этом этапе могут привести к серьезным нарушениям режима, включая аварийные отключения и повреждение оборудования. Среда

SimInTech предоставляет широкие возможности для построения и анализа моделей электромеханических и электрических систем. Целью данной работы является разработка модели синхронизации генератора с сетью в SimInTech и исследование переходных процессов [1].

Основная часть

Модель включает в себя: синхронный генератор, мощностью 63 МВт, номинальной частотой вращения 3000 об/мин и номинальным напряжением 10 кВ, силовой трансформатор мощностью 63 МВА, номинальным напряжением обмотки высокого напряжения 115 кВ и схемой соединения обмоток треугольник – звезда с нулем, устройство синхронизации с цепями управления автоматикой и выходным сигналом на включение выключателя.

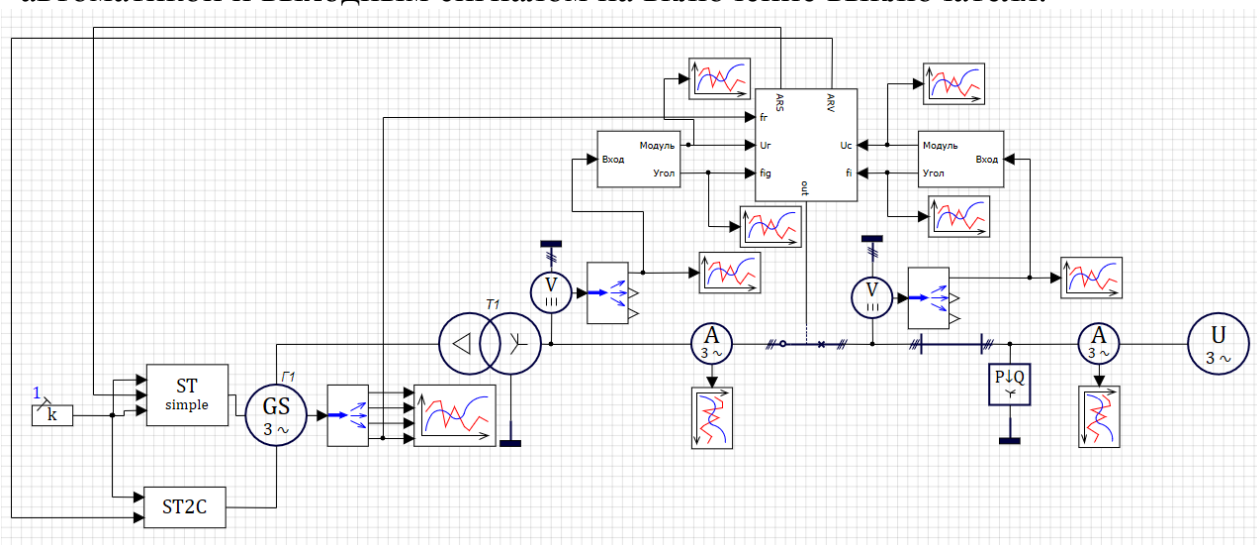


Рис. 1. Модель сети

Синхронизатор в данной модели представляет собой логический блок, сравнивающий входные сигналы. генератор включается в момент, когда все условия соблюдаются:

- 1) Напряжение сети равно напряжению генератора. Допустимое отклонение напряжений не более 20%

$$U_c = U_g, \quad (1)$$

- 2) Частота сети равна частоте генератора с допустимым отклонением 0,05 Гц

$$f_c = f_g, \quad (2)$$

- 3) Угол между векторами напряжений генератора и сети равен нулю

$$\delta = 0, \quad (3)$$

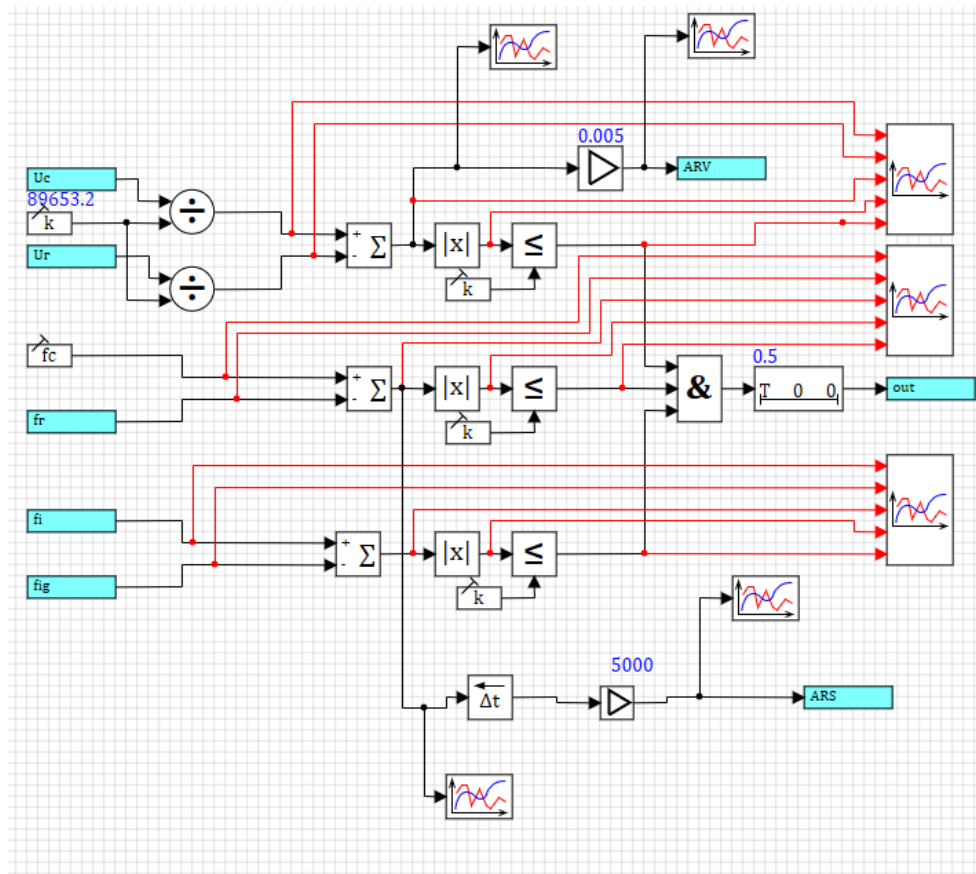


Рис. 2. Устройство синхронизатора

На рис. 3 представлены осциллограммы тока и напряжения синхронного генератора в момент синхронизации с сетью.

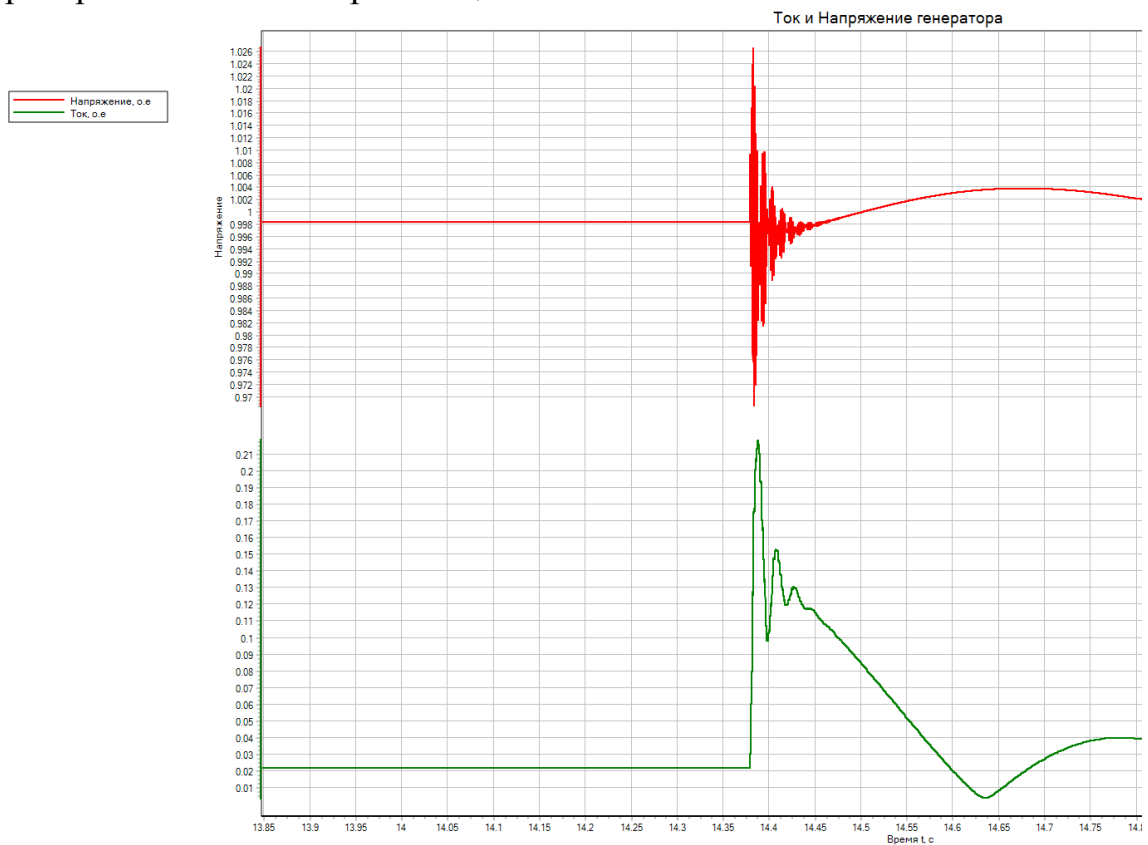


Рис. 3. Осциллограммы тока и напряжения генератора

Как видно из рисунков, после синхронизации генератор переходит в установившийся режим. Напряжение и ток синхронного генератора плавно выходят на установившиеся значения, что свидетельствует о корректном моменте включения генератора в сеть. Динамическое поведение системы соответствует требованиям к устойчивому параллельному включению, что подтверждает эффективность реализованной модели и выбранных параметров управления [2].

Заключение

В ходе работы была разработана и реализована модель синхронизации синхронного генератора с сетью в среде SimInTech. Проведённый анализ переходных процессов подтвердил корректность работы схемы синхронизации при заданных параметрах системы. Результаты моделирования показали, что при согласованных условиях включения обеспечивается плавное установление токов и напряжений без критических возмущений, что свидетельствует о высокой устойчивости процесса. Использование среды SimInTech продемонстрировало свою эффективность для исследования динамики генераторных установок и может быть рекомендовано для проектирования и верификации алгоритмов управления в энергосистемах [3].

Литература

1. Жданов П. С. Вопросы устойчивости электрических систем. Москва: Энергия, 1979. 456 с.
2. Коробко Г. И., Шилов М. П. Разработка и моделирование синхронизатора для включения синхронного генератора на параллельную работу с сетью // Актуальные проблемы электроэнергетики: сборник научно-технических статей (Нижний Новгород, 22 декабря 2017 г.) / ответственный редактор А. Б. Дарьенков. Нижний Новгород: Изд-во Нижегород. гос. техн. ун-та им. Р. Е. Алексеева, 2017. С. 111-116.
3. Разработка цифрового устройства синхронизации для автоматического включения в сеть генераторов различными методами / В. А. Федорова, Д. В. Корнилович, В. Ф. Кириченко, Г. В. Глазырин // Электроэнергетика глазами молодежи: материалы XII Международной научно-технической конференции (Нижний Новгород, 16–19 мая 2022 г.). Нижний Новгород: Изд-во Нижегород. гос. техн. ун-та им. Р. Е. Алексеева, 2022. Ч. 1. С. 193-196.

SIMULATION OF SYNCHRONOUS GENERATOR SYNCHRONIZATION
WITH A NETWORK IN THE SIMINTECH DYNAMIC SIMULATION
ENVIRONMENT

Nikolay V. Alexandrov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

alexandrov-88@mail.ru

©*Danil Y. Pleshkov*

teacher

pleshkov.danil.1947@mail.ru

©*Stepan S. Agnaev*

teacher

stephanagnaev02@gmail.com

©*Sayn D. Dondukov*

teacher

dondukov.s@yandex.ru

East Siberian State University of Technology and Management
40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia

Abstract. This paper discusses the methodological and practical aspects of modeling the synchronization processes of a synchronous generator with an electrical network based on the use of the SimInTech dynamic modeling environment. A structural diagram of the model is presented, which covers the main elements of the electromechanical and electrical parts of the generator set, including the exciter, the synchronization device, and the elements of the automatic control system. The paper explores the transient processes that occur when the generator is connected to the network. The simulation is performed to assess the time characteristics of the synchronization process and analyze the results obtained. The obtained results confirm the effectiveness of using the SimInTech environment for analyzing and debugging algorithms for controlling synchronous generators as part of power systems.

Keywords: synchronous generator, synchronization, SimInTech, modeling, power system, transients, stability.

Научная статья
УДК 621.311.4
DOI 10/18101/978-5-9793-2065-6-105-111

УЧЕБНЫЙ ПОЛИГОН-ТРЕНАЖЕР ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДСТАНЦИИ 35/10 КВ

©**Дашеев Дмитрий Евгеньевич**

кандидат педагогических наук, доцент,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В
dasheevd@mail.ru

©**Данеев Валерий Васильевич**

кандидат технических наук, доцент,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В
dvv_espp@mail.ru

©**Хаглеев Андрей Николаевич**

кандидат технических наук, доцент,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В,
Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН,
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
khagleev@yandex.ru

©**Демин Кирилл Андреевич**

старший преподаватель, аспирант,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В,

Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
deminka.mail@gmail.com

©**Плешков Данил Юрьевич**

преподаватель,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В,
danil.pleshkov.1947@mail.ru

Аннотация. В статье представлены архитектура и функциональные возможности учебного полигона-тренажера высокоавтоматизированной подстанции 35/10 кВ ВСГУТУ. Разработанный полигон-тренажер высокоавтоматизированной подстанции позволяет модели-

ровать рабочие режимы высоковольтной подстанции, воспроизводить штатные и аварийные ситуации, реализует алгоритмы автоматического управления и диагностики оборудования подстанций. Учебный полигон-тренажер подстанции 35/10 кВ интегрирует в себе физическое оборудование, аппаратные и программные комплексы, работающие в соответствии со стандартами МЭК 61850. Сочетание современного реального оборудования, программно-технического и учебно-методического обеспечения позволяет обеспечить высокий уровень реализма, создавая производственную среду оперативного и инженерно-технического персонала высокоавтоматизированных подстанций. Показано, что применение разработанного полигона-тренажера высокоавтоматизированной подстанции 35/10 кВ способствует эффективному формированию профессиональных компетенций будущих специалистов и позволяет отработать практические навыки эксплуатации и обслуживания электрооборудования современных подстанций.

Ключевые слова: электрическая подстанция, архитектура программно-технического комплекса, высокоавтоматизированная подстанция, полигон-тренажер, SCADA-система, автоматизированная система управления технологическими процессами подстанции

Введение

Внедрение высокоавтоматизированных электрических подстанций приводит к повышению спроса на квалифицированные кадры по их проектированию, монтажу и эксплуатации. Для подготовки компетентных в данной области специалистов в ФГБОУ ВО ВСГУТУ разработан учебный полигон-тренажер высокоавтоматизированной подстанции (ВАПС) 35/10 кВ «Учебная». Основной целью разработки полигона является создание реалистичной производственной среды современной подстанции, способствующей эффективному обучению и развитию профессиональных компетенций будущих специалистов электроэнергетического профиля [1,2].

Основная часть

В состав учебного полигона-тренажер ВАПС входит электрическая подстанция с реальным электрооборудованием 35, 10 кВ (рисунок 1), автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) подстанции, с автоматизированными рабочими местами (АРМ) инженера релейной защиты и автоматики (РЗА) и АРМ оперативного персонала.

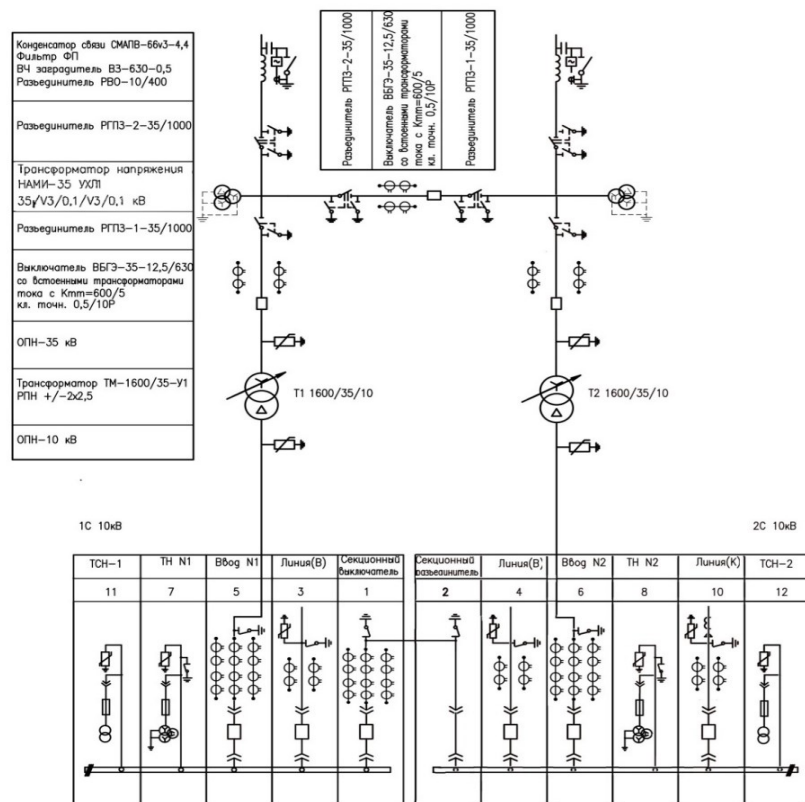


Рис. 1. Главная электрическая схема полигона-тренажёра ВАПС 35/10 кВ

На рисунке 2 представлены компоненты полигона-тренажёра ВАПС 35/10 кВ.

Материально-технический компонент	Программно-технический компонент	Электронный информационно-образовательный компонент
<ul style="list-style-type: none"> Учебная подстанция 35/10 кВ нового поколения, которая укомплектована современным электрооборудованием 35 и 10 кВ отечественного и зарубежного производства, интеллектуальными электронными устройствами Учебный компьютерный класс с автоматизированными рабочими местами оперативного персонала (АРМ ОП) и инженера по релейной защите и автоматике (АРМ инженера РЗА) 	<ul style="list-style-type: none"> Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) подстанции Программно-технические измерительные комплексы и приборы 	<ul style="list-style-type: none"> Компьютерный тренажер Учебно-методический комплекс

Рис. 2. Компоненты полигона-тренажёра ВАПС 35/10 кВ

Материально-техническая база полигона-тренажёра ВАПС 35/10 кВ включает в себя подстанцию с распределительными устройствами 35 и 10 кВ и

учебный корпус с тремя аудиториями. Материально-технический компонент представлен на рисунке 3.



Рис.3. Материально-технический компонент полигона-тренажёра ВАПС

Архитектура программно-технического компонента построена по многоуровневому принципу и включает следующие основные компоненты: микропроцессорные терминалы РЗА, коммуникационная инфраструктура, АРМ оперативного персонала и АРМ РЗА (рисунок 4).

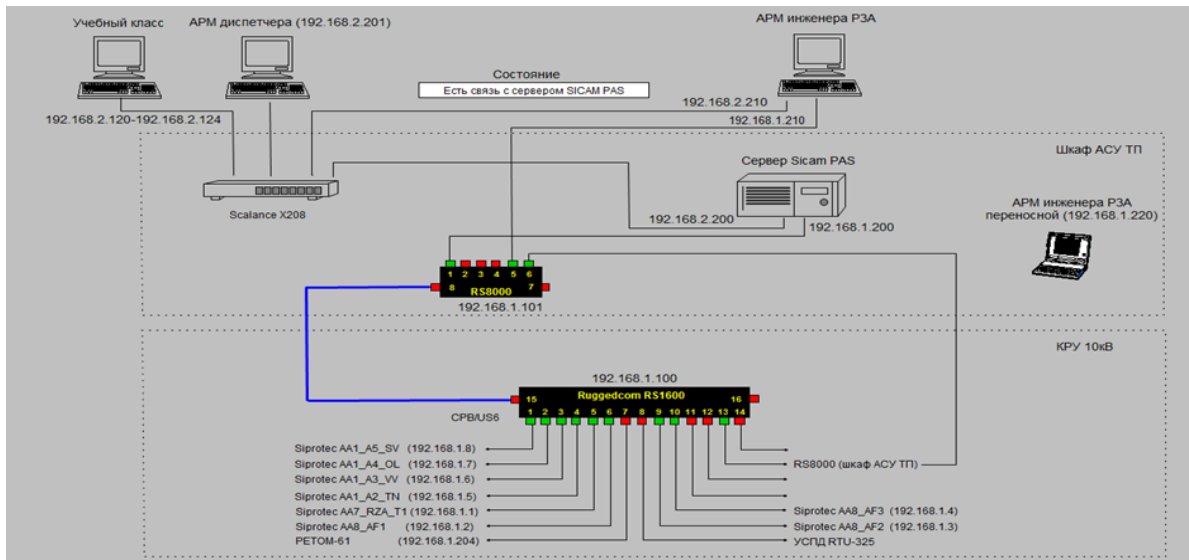


Рис.4. Архитектура программно-технического компонента полигона-тренажёра ВАПС

Многоуровневая архитектура системы построена на основе протоколов передачи данных согласно стандарту МЭК 61850 и соответствует первой архитектуре ВАПС.

В компьютерном классе на АРМ ОП используется SCADA-система с человеко-машинным интерфейсом, позволяющая отслеживать параметры режимы работы электрооборудования и выполнять дистанционные переключения на подстанции (рисунок 5.)

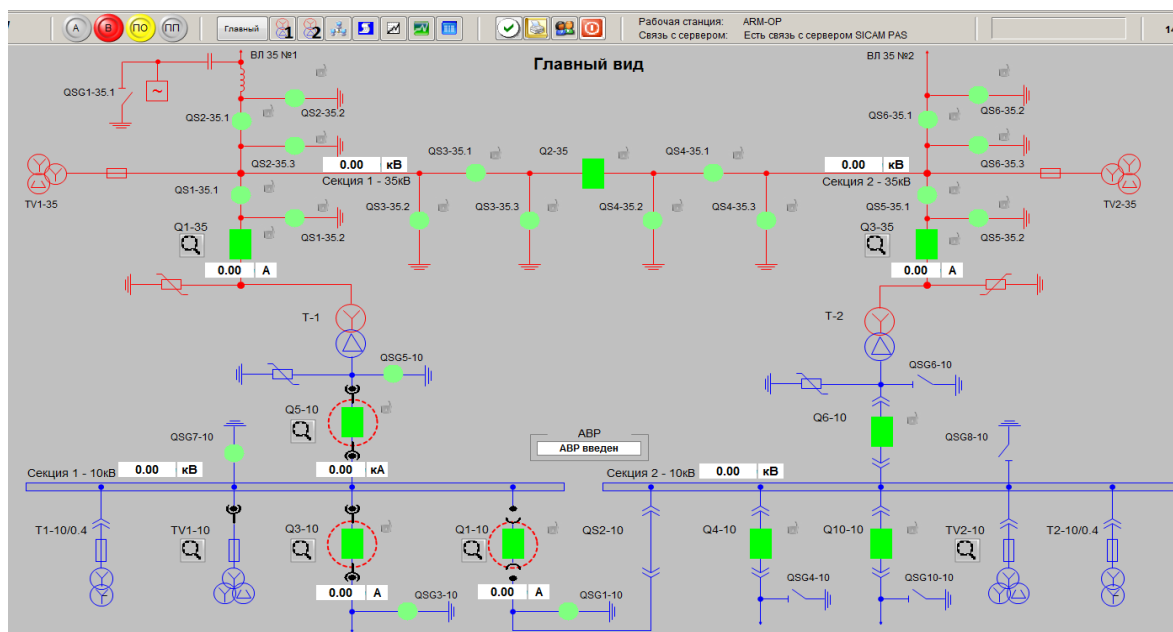


Рис. 5. Мнемоническая схема подстанции 35/10 кВ «Учебная»

Информация в АРМ оперативного персонала представляется в виде мнемосхем: схематичных изображений электрических цепей 35 и 10 кВ, а также сетевой структуры АСУ ТП, журналов, графиков и отчетов.

АРМ инженера РЗА позволяет выполнять исследование и тестирование устройств РЗА, отображать осциллограммы различных режимов и моделировать сигналы вторичных цепей.

Учебно-методический комплекс полигона-тренажёра ВАПС обеспечивает комплексное изучение теоретического материала, учебно-методическое сопровождение практической деятельности обучающихся, оценку уровня сформированных компетенций и состоит из виртуальных лабораторных работ, компьютерного симулятора-тренажера, электронных учебников и системы протоколирования, оценки и контроля знаний.

На базе полигона-тренажёра ВАПС создан комплекс деловых игр профессионально-ориентированного характера [3]. Для моделирования реальных штатных и нештатных производственных ситуаций разработаны сценарии по переключениям в компьютерном тренажёре Модус 5.20.

Полигон-тренажер ВАПС обеспечивает реализацию следующих ключевых функций: практическое освоение технологий ВАПС, формирование навыков

оперативного управления на современных подстанциях, конфигурирования устройств РЗА, тестирования микропроцессорных устройств РЗА.

Образовательный процесс на базе полигона-тренажёра ВАПС 35/10 кВ ВСГУТУ построен на основе выполнения реальной деятельности оперативного и инженерно-технического персонала современных ВАПС.

Заключение

Разработанный полигон-тренажер ВАПС 35/10 кВ представляет собой эффективное решение проблемы подготовки кадров для цифровой электроэнергетики. Комплексный подход, сочетающий реальное оборудование и современные программные средства, позволяет сформировать у обучаемых не только теоретические знания, но и практические навыки, необходимые для безопасной и эффективной эксплуатации современных энергообъектов. Полигон-тренажер ВАПС 35/10 кВ создает целостную систему материально-технического, программно-технического и учебно-методического обеспечения процесса подготовки будущих специалистов.

Литература

1. Учебно-методический комплекс для дистанционного изучения технологий высокоавтоматизированных подстанций / Ю. В. Монаков, А. М. Поляков, А. В. Трофимов, В. А. Трофимов // Релейная защита и автоматизация. 2024. № 1. С. 80–84.

2. Дашеев Д. Е. Автоматизированный учебный комплекс как средство формирования профессиональных компетенций бакалавров электроэнергетических специальностей // Вестник БГУ. Педагогика, филология, философия. 2017. № 7. С. 130-136.

3. Ваганова В. И., Дашеев Д. Е. Использование деловых игр в условиях автоматизированного учебного комплекса в процессе формирования профессиональных компетенций будущих инженеров // Ученые записки Забайкальского государственного университета. Сер. Педагогические науки. 2018. Т. 13, № 6. С. 79–88.

TRAINING POLYGON-SIMULATOR OF A HIGHLY AUTOMATED 35/10 kV SUBSTATION

Dmitry E. Dasheev

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor
East Siberian State University of Technology and Management
40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia
dasheevd@mail.ru

Valery V. Daneev

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
East Siberian State University of Technology and Management
40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia

Andrey N. Khagleyev

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
East Siberian State University of Technology and Management
40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia

Institute of Physical Materials Science, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

6 Sakhyanova st., Ulan-Ude 670047, Russia,
khagleev@yandex.ru

Kirill A. Demin

senior lecturer, graduate student
East Siberian State University of Technology and Management
40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia

Institute of Physical Materials Science, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

6 Sakhyanova st., Ulan-Ude 670047, Russia,
deminka.mail@gmail.com

Danil Yu. Pleshkov

teacher
East Siberian State University of Technology and Management
40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia
danil.pleshkov.1947@mail.ru

Abstract. This article presents the architecture and functionality of a training facility for a highly automated 35/10 kV substation at VSGUTU. The developed training facility simulates high-voltage substation operating modes, reproduces normal and emergency situations, and implements algorithms for automatic control and diagnostics of substation equipment. The training facility integrates physical equipment, hardware, and software systems operating in accordance with IEC 61850 standards. The combination of modern real equipment, software, hardware, and training tools ensures a high level of realism, creating a production environment for the operational and engineering personnel of modern highly automated substations. It has been demonstrated that the use of the developed training ground for a highly automated 35/10 kV substation contributes to the effective development of professional competencies in future specialists and allows them to develop practical skills in the operation and maintenance of electrical equipment at modern substations.

Keywords: electrical substation, software and hardware architecture, highly automated substation, training ground, SCADA system, automated process control system for substations.

Научная статья
УДК 621.311.4
DOI 10/18101/978-5-9793-2065-6-112-116

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТАНЦИИ

©**Дашеев Дмитрий Евгеньевич**
кандидат педагогических наук, доцент
dasheevd@mail.ru

©**Тарнурев Евгений Геннадьевич**
магистр
evg.tarnuev2017@yandex.ru

©**Агнаев Степан Сергеевич**
преподаватель
stephanagnaev02@gmail.com

©**Дондуков Саян Дмитриевич**
преподаватель
dondukov.s@yandex.ru

©**Азбукина Антонина Андреевна**
преподаватель
tosya.azbukina@gmail.com

©**Лубсанов Андрей Вадимович**
преподаватель
andrey13889@mail.ru

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В

Аннотация. Рассмотрено создание и применение цифрового двойника электрической подстанции. Цифровой двойник электрической подстанции позволяет оценить технические решения на начальных стадиях реконструкции и строительства. В статье рассмотрено программное обеспечение, позволяющее смоделировать и настроить цифровой двойник подстанции. Представлены основные функции и возможности разработанного цифрового двойника электрической подстанции 110/35/6 кВ. Разработка и применение цифрового двойника электрической подстанции позволяет решить ряд важных задач при проектировании и эксплуатации подстанций: определение наиболее эффективных режимов работы электрооборудования подстанции, планирование и расчет режимов работы электрической сети, мониторинг и прогнозирование режимов работы электрооборудования, расчёт токов короткого замыкания. Результаты исследования могут быть полезны специалистам предприятий электроэнергетической отрасли, сотрудникам и студентам учебных заведений.

Ключевые слова: электрическая подстанция, цифровой двойник, цифровая модель, цифровой двойник подстанции.

Введение

Цифровые двойники находят широкое применение в научно-исследовательской и производственной деятельности, создавая виртуальные модели реальных объектов. Согласно ГОСТ Р 57700.37–2021, цифровой двойник – это система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями¹. Как отмечают авторы [1,2] цифровые двойники станут ключевым элементом энергетики будущего. В концепции цифровой трансформации 2020 ПАО «Россети» разработке и применению цифровых двойников отведено ключевое место при формировании единой цифровой среды².

Цель исследования - создание цифрового двойника электрической подстанции 110/35/6 кВ в программном комплексе «SEDMAX»³. Основные возможности программного комплекса «SEDMAX»: диспетчеризация технологических процессов, регистрация аварийных событий, создание цифрового двойника электрической сети.

Основная часть

Разработка и применение цифрового двойника электрической подстанции позволяет решить следующие задачи: определение наиболее эффективных режимов работы электрооборудования подстанции, планирование и расчет режимов работы электрической сети, выполнение оперативных переключений на подстанции с контролем загрузки электрооборудования и уровней напряжения; расчёт токов короткого замыкания.

В данной работе создан цифровой двойник подстанции 110/35/6 кВ в программном комплексе «SEDMAX». Действующая однолинейная схема подстанции 110/35/6 кВ представлена на рисунке 1.

С помощью инструментов «SEDMAX» был разработан и настроен цифровой двойник реальной подстанции 110/35/6 кВ. Цифровая модель была применена для оценки технических решений при потенциальной реконструкции подстанции.

Исходные характеристики и режимы работы были сняты с реальной подстанции 110/35/6 кВ. В программном комплексе «SEDMAX» были сконфигурированы устройства и их параметры, разработана однолинейная схема и настроена логика поведения элементов при разных режимах и условиях. На рисунке 2 представлена разработанная мнемоническая схема цифрового двойника подстанции.

¹ ГОСТ Р 57700.37–2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. Москва: Изд-во Рос. ин-та стандартизации, 2021. 11 с.

² Цифровая трансформация 2030. Концепция ПАО «Россети». URL: <https://www.rosseti.ru/sustainable-development/digital-transformation-2030/> (дата обращения: 10.10.2025).

³ Цифровой двойник электроснабжения. URL: <https://sedmax.ru/solutions/tsifrovoy-dvoynik-elektrosnabzheniya/> (дата обращения: 10.10.2025).

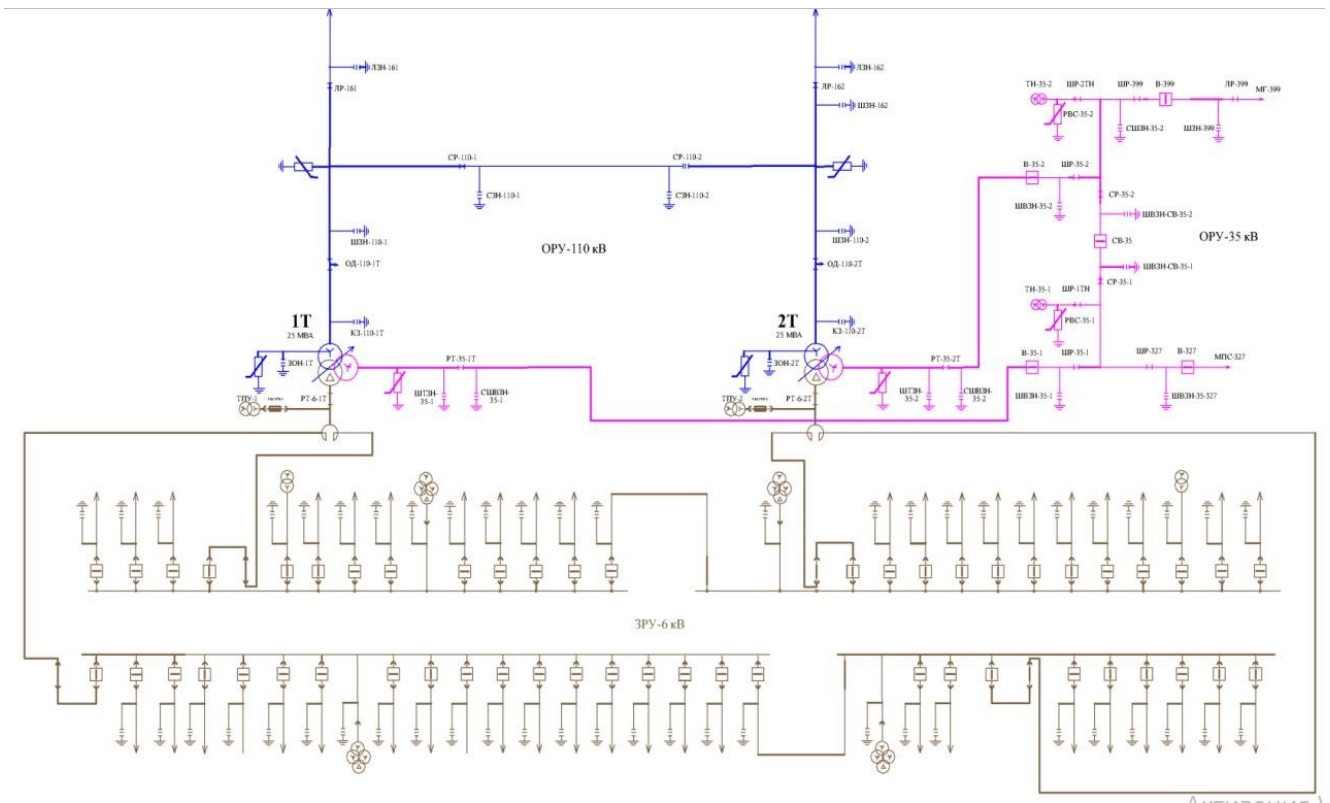


Рис. 1. Однолинейная схема подстанции 110/35/6 кВ

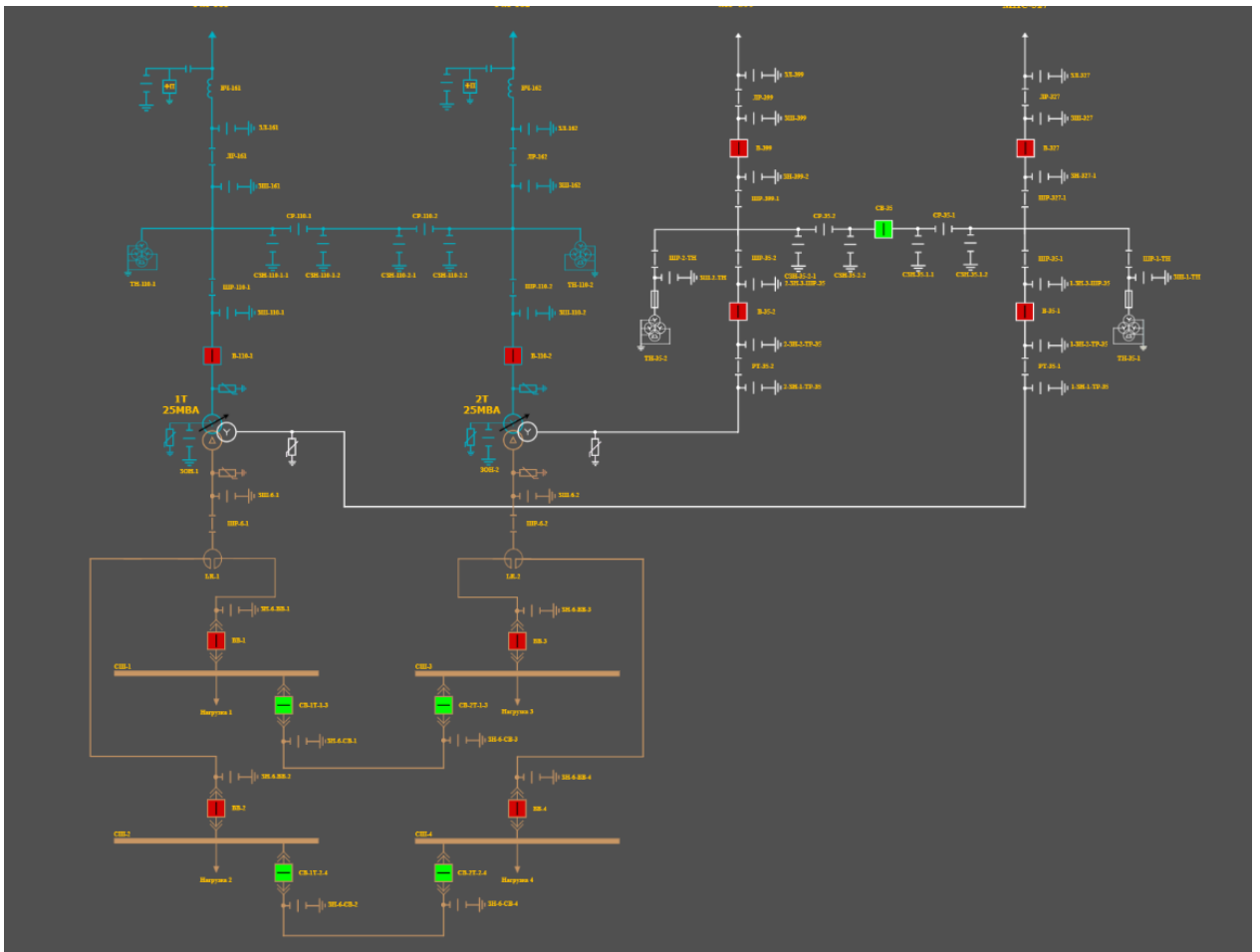


Рис. 2. Мнемоническая схема цифрового двойника подстанции

- Функции разработанного цифрового двойника электрической подстанции:
1. Построение модели сети через графический редактор в web-интерфейсе.
 2. Мониторинг и прогнозирование режимов работы электрооборудования.
 3. Расчет режимов работы сети.

Цифрой двойник подстанции позволяет смоделировать SCADA-систему подстанции и проверить выбранное первичное оборудование.

В разработанной цифровой модели электрической подстанции можно имитировать различные производственные ситуации, например, отключение вводного выключателя 6 кВ «ВВ-1» и включение секционных выключателей «СВ-1Т-1-3 и СВ-2Т-1-3», и посмотреть, как при этом распределяется нагрузка.

Можно на любом участке подстанции смоделировать короткое замыкание, при этом токи короткого замыкания рассчитаются автоматически.

Применение цифрового двойника обеспечивает мониторинг и прогнозирование режимов работы электрооборудования подстанции, что способствует снижению рисков, сокращению затрат на обслуживание.

Разработанный цифровой двойник идеально соответствует режиму настоящей подстанции. Все параметры отображаются на мнемонической схеме, а расчеты режимов совпадают с фактическими значениями на подстанции.

Заключение

Программный комплекс «SEDMAX» имеет достаточно большой функционал и позволяет создать цифровой двойник электрической подстанции. Разработанный цифровой двойник позволяет оценить принимаемые технические решения при реконструкции электрической подстанции.

Литература

1. Гвоздяный С. Е., Мясков А. В. Цифровые двойники как ключевой элемент энергетики будущего: связь с теорией длинных волн Кондратьева // Экономика промышленности. 2025. № 3. С. 376–357.
2. Кондратьев К. А. Цифровые двойники, как основа эксплуатации топливно-энергетического комплекса // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: естественные и технические науки. 2024. № 5. С.91–97.

DIGITAL TWIN OF ELECTRICAL SUBSTATION

Dmitry E. Dasheev

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor
dasheevd@mail.ru

Evgeniy G. Tarnuev

master's degree
evg.tarnuev2017@yandex.ru

Stepan S. Agnaev

teacher
stephanagnaev02@gmail.com

Sayn D. Dondukov

teacher
dondukov.s@yandex.ru

Antonina A. Azbukina

teacher
tosya.azbukina@gmail.com

Andrey V. Lubsanov

teacher
andrey13889@mail.ru

East Siberian State University of Technology and Management
40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia

Abstract. This article examines the creation and application of a digital twin of an electrical substation. A digital twin of an electrical substation enables the evaluation of technical solutions in the early stages of reconstruction and construction. This article discusses software for modeling and configuring a digital twin of a substation. The key functions and capabilities of the developed digital twin of a 110/35/6 kV electrical substation are presented. The development and application of a digital twin of an electrical substation enables the solution of a number of important tasks in the design and operation of substations: determining the most efficient operating modes of substation electrical equipment, planning and calculating electrical network operating modes, monitoring and forecasting electrical equipment operating modes, and calculating short-circuit currents. The results of this study may be useful to specialists in the electric power industry, as well as employees and students of educational institutions.

Keywords: electrical substation, digital twin, digital model, digital twin of a substation.

Научная статья
УДК 533.924
DOI 10/18101/978-5-9793-2065-6-117-122

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНОПЛЯНОГО ФИБРОБЕТОНА

© **Дондуков Саян Дмитриевич**

преподаватель,

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В
dondukov.s@yandex.ru

© **Хаглеев Андрей Николаевич**

кандидат технических наук, научный сотрудник,

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В

Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
khagleev@yandex.ru

© **Демин Кирилл Андреевич**

старший преподаватель, младший научный сотрудник,

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В

Институт физического материаловедения Сибирского отделения РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
deminka.mail@gmail.com

© **Агнаев Степан Сергеевич**

преподаватель,

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В
stephanagnaev02@gmail.com

© **Дашеев Дмитрий Евгеньевич**

кандидат педагогических наук, доцент,

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В
dasheevd@mail.ru

© Данеев Валерий Васильевич

кандидат технических наук, доцент,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В
dvv_essp@mail.ru

© Плешков Данил Юрьевич

преподаватель,
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
Россия, 670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В
danil.pleshkov.1947@mail.ru

Аннотация. В контексте перехода строительства к принципам устойчивого развития актуальным является применение экологичных материалов, таких как фибробетоны на основе натуральных волокон. Исследование посвящено анализу прочностных характеристик мелкозернистого бетона, армированного волокном технической конопли. Цель работы — установить зависимость механических свойств от процентного содержания фибры (0,25%, 0,5%, 0,75% от массы смеси). Экспериментально подтверждено, что введение фибры приводит к повышению прочности на сжатие и растяжение при изгибе во все сроки твердения. Установлено, что оптимальным является содержание конопляной фибры 0,75%, что демонстрирует ее эффективность как возобновляемого армирующего компонента.

Ключевые слова: техническая конопля, бетон, конопляный фибробетон, фибробетон, экологичные материалы, армирование.

Введение. Современное строительство столкнулось с необходимостью перехода к принципам устойчивого развития, что предполагает активное использование экологически чистых, возобновляемых материалов и снижение углеродного следа строительной индустрии [1]. Одним из наиболее перспективных направлений в этой области является развитие фибробетонов – композиционных материалов, армированных дисперсными волокнами (фиброй). Введение фибры в цементную матрицу позволяет существенно улучшить эксплуатационные характеристики бетона: повысить прочность на растяжение и изгиб, сопротивление ударным нагрузкам, трещиностойкость и долговечность [2].

Традиционно в качестве фибры используются стальные, стеклянные или синтетические волокна. Однако их производство является энергоемким и не всегда соответствует критериям «зеленого» строительства. В этой связи все больший интерес вызывают натуральные растительные волокна, такие как джут, лен, сизаль и конопля [3]. Конопляное техническое волокно (*Canabis Sativa*) обладает рядом уникальных преимуществ: высокой прочностью на растяжение, низкой плотностью, хорошими теплоизоляционными свойствами, быстрой возобновляемостью и полной биоразлагаемостью [4]. Использование отходов переработки технической конопли в производстве строительных материалов позволяет реализовать концепцию замкнутого цикла экономики.

Несмотря на очевидные экологические преимущества, широкое применение конопляного фибробетона (КФБ) сдерживается недостаточной изученностью его физико-механических свойств. Поведение КФБ как композита сложно и нелинейно, поскольку оно зависит от множества взаимосвязанных факторов: свойств цементной матрицы, длины и объема вводимой фибры, ее ориентации в массиве бетона, а также адгезии между волокном и матрицей [5]. Ключевой проблемой, требующей глубокого исследования, является влияние конопляной фибры на прочностные характеристики бетона, в частности, на прочность при сжатии, растяжении и изгибе. Кроме того, наличие в органических волокнах водорастворимых экстрактивных веществ может создавать проблемы для гидратации цемента и долговечности композита [6].

Таким образом, целью настоящего исследования является комплексный анализ прочностных характеристик конопляного фибробетона в зависимости от процента содержания фибры.

Объекты и методы исследования. В качестве исходных материалов для подготовки составов фибробетонной смеси применялись следующие компоненты:

- портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н, соответствующий ГОСТ 31108-2020, производства ООО «Тимлюйцемент» ХК «Сибирский цемент» (Республика Бурятия);

- природный песок с непрерывным зерновым составом из Малоуланского месторождения РБ, с модулем крупности $M_k = 2,4$ и содержанием глинистых и илистых частиц 3 %;

- гранитный отсев дробления фракции 0-0,63 мм;

- волокна конопли посевной (*Cannabis sativa L.*) сорта Гляна, выращенные на опытном поле Иволгинского района РБ в ФГБОУ ВО Бурятская ГСХА. Для экспериментов использовались круглые волокна диаметром 20–30 мкм и длиной 12–18 мм.

Таким образом, состав фибробетонной смеси базировался на локальных природных материалах с подтвержденными характеристиками для обеспечения необходимого качества и свойств конечного продукта.

Таблица 1

Состав бетонной смеси для получения фибробетона

Расход компонентов, кг/м ³				
ПЦ	песок	гранитные отсева	вода	фибра
385	539	558	212	1.93

Таблица 2

Физико-механические характеристики мелкозернистого фибробетона

Количество фибры, % от массы бетонной смеси	Прочность на растяжение при изгибе/прочность на сжатие, МПа, после твердения, сутки		
	3	7	28
0,25	4,3 / 14,6	4,5 / 17	4,9 / 18,8
0,5	4,6 / 15	4,9 / 17,4	5,9 / 19,4
0,75	4,9 / 15,3	5,2 / 17,8	6,1 / 19,8

По данным таблицы 2 наблюдается четкая зависимость роста прочности от увеличения процентного содержания фибры. Для всех возрастов твердения (3, 7 и 28 суток) с ростом доли фибры с 0,25% до 0,75% последовательно увеличиваются показатели прочности на растяжение при изгибе и прочности на сжатие. Наибольшие значения прочности зафиксированы у состава с содержанием фибры 0,75%.

Заключение. Применение конопляной фибры в количестве 0,75% от массы бетонной смеси является наиболее эффективным из рассмотренных вариантов, обеспечивая максимальный прирост прочностных характеристик, особенно на растяжение при изгибе. Это доказывает перспективность использования конопляной фибры в качестве дисперсного армирующего материала для повышения механических свойств мелкозернистого бетона.

Литература

1. Pacheco-Torgal F. et al. Eco-efficient construction and building materials: life cycle assessment (LCA), eco-labelling and case studies. Woodhead Publishing, 2014.
2. Labib W. A. Fibre reinforced cement composites. *Cement based materials*. 2018; 31: 31-48.
3. Faruk O. et al. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in polymer science*. 2012; 37; 11: 1552-1596.
4. Sedan D. et al. Mechanical properties of hemp fibre reinforced cement: Influence of the fibre/matrix interaction. *Journal of the European Ceramic Society*. 2008; 28; 1: 183-192.
5. Yan L., Kasal B., Huang L. A review of recent research on the use of cellulosic fibres, their fibre fabric reinforced cementitious, geo-polymer and polymer composites in civil engineering. *Composites Part B: Engineering*. 2016; 92: 94-132.
6. Ardanuy M., Claramunt J., Toledo Filho R. D. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. *Construction and building materials*. 2015; 79: 115-128.

ANALYSIS OF THE STRENGTH CHARACTERISTICS
OF HEMP FIBER CONCRETE

Sayan D. Dondukov

Lecturer,

East Siberian State University of Technology and Management

40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia

dondukov.s@yandex.ru

Andrey N. Khagleev

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Researcher,

East Siberian State University of Technology and Management

40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia

Institute of Physical Materials Science, Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences

6 Sakhyanovoi st., Ulan-Ude, 670047, Russia

khagleev@yandex.ru

Demin K. Andreevich

senior lecturer, junior researcher,

East Siberian State University of Technology and Management

40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia

Institute of Physical Materials Science, Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences

6 Sakhyanovoi st., Ulan-Ude, 670047, Russia

deminka.mail@gmail.com

Agnaev S. Sergeevich

teacher,

East Siberian State University of Technology and Management

40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia

stephanagnaev02@gmail.com

Dmitry E. Dasheev

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,

East Siberian State University of Technology and Management

Russia, 670013, 40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia

dasheevd@mail.ru

Valery V. Daneev

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

East Siberian State University of Technology and Management

40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia

dvv_essp@mail.ru

Danil Yu. Pleshkov

Lecturer,

East Siberian State University of Technology and Management

40V Klyuchevskaya st., Ulan-Ude, 670013, Russia

danil.pleshkov.1947@mail.ru

Abstract. As construction shifts toward sustainable development principles, the use of environmentally friendly materials such as fiber-reinforced concrete based on natural fibers is becoming increasingly important. This study analyzes the strength characteristics of fine-grained concrete reinforced with industrial hemp fiber. The objective of the study was to establish the relationship between mechanical properties and fiber content (0.25%, 0.5%, and 0.75% of the mixture weight). Experiments have confirmed that the addition of fiber increases compressive and tensile strength in bending throughout the curing period. The optimal hemp fiber content was found to be 0.75%, demonstrating its effectiveness as a renewable reinforcing component.

Keywords: Industrial hemp, concrete, hemp fiber concrete, fiber concrete, environmentally friendly materials, reinforcement.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Цырендоржиева Д. Ш.</i> Научная школа профессора С. Л. Буянтуева	3
<i>Заяханов М. Е., Урханова Л. А., Лхасаранов С. А.</i> Вклад профессора С. Л. Буянтуева в развитие строительного материаловедения	11
<i>Батухтин А. Г., Батухтин С. Г., Рудой В. И., Яковлева О. П.</i> Валидация коэффициентов восстановления для математической модели плазменной системы термохимической подготовки топлива, учитывающей динамику частиц пыли	16
<i>Батухтин А. Г., Коган Е. С., Палкин Г. А., Лягоцкий М. В.</i> Использование алгоритмов машин обучения для анализа высокотемпературного поля по фотоснимкам	20
<i>Хамханов А. К.</i> Механические системы с сосредоточенными и распределенными параметрами: математическое моделирование твердого тела на упругом стержне	25
<i>Дарбинян З. Г., Риккер Ю. О., Кобылкин М. В.</i> Рекуперация серых стоков как универсальный механизм повышения энергоэффективности предприятий	30
<i>Золотухин С. Н., Кукина О. Б.</i> Проблемы и практика внедрения строительных технологий замкнутого цикла	34
<i>Батухтин А. Г., Батухтин С. Г., Рудой В. И.</i> Применение плазменного розжига для интенсификации сжигания низкосортного топлива: перспективы и ограничения	38
<i>Лхасаранов С. А., Урханова Л. А., Попов Д. Б., Старинский И. В.</i> Самоуплотняющийся бетон с применением дисперсно-армирующей фибры, полученной в плазменном реакторе	42
<i>Некрасова Е. С.</i> Оценка влияния промышленных выбросов на здоровье и заболевания органов дыхания населения города Кемерово	49
<i>Чимитова Е. Г., Немеров А. П.</i> Нейросетевая тосар-система на основе видео с мобильных устройств	52
<i>Николаев М. С., Картаев Е. В., Ващенко С. П., Ковалев О. Б.</i> Численное моделирование газодинамики в трехструйном плазмохимическом реакторе со смещенным вводом газа-теплоносителя	59
<i>Переломов Л. В.</i> Поглощение окситетрациклина глинистыми минералами	67
<i>Рудой В. И., Батухтин А. Г.</i> Применение цеолитсодержащей породы в качестве топливной добавки	73
<i>Сультимова В. Д.</i> Плазменные технологии переработки золы тепловых электрических станций в строительные материалы	76

Супалов А. К. Применение искусственного интеллекта для прогнозирования в электроэнергетике	80
Чимитова Е. Г., Цыбиков Н. Д. Интеллектуальная система мониторинга изображений	87
Данеев В. В., Дашеев Д. Е., Пнёв М. С. Повышение чувствительности токовых защит электродвигателей	94
Александров Н. В., Плешков Д. Ю., Агнаев С. С., Дондуков С. Д. Моделирование процесса синхронизации генератора с сетью в среде динамического моделирования SimInTech	100
Дашеев Д. Е., Данеев В. В., Хаглеев А. Н., Демин К. А., Плешков Д. Ю. Учебный полигон-тренажер высокоавтоматизированной подстанции 35/10 кВ	105
Дашеев Д. Е., Тарнуев Е. Г., Агнаев С. С., Дондуков С. Д., Азбукина А. А., Лубсанов А. В. Цифровой двойник электрической подстанции	112
Дондуков С. Д., Хаглеев А. Н., Демин К. А., Агнев С. С., Дешеев Д. Е., Данеев В. В., Плешков Д. Ю. Анализ прочностных характеристик конопляного фибробетона	117

Научное издание

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ И ПРИРОДООХРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Материалы всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 80-летию доктора технических наук, профессора, академика Национальной академии наук Монголии Сергея Лубсановича Буянтуева

(Улан-Удэ, 5-7 августа 2025 г.)

Редактор М. В. Дармаев
Компьютерная верстка М. В. Дармаева

Свидетельство государственной регистрации № 2670 от 11 августа 2017 г.

Подписано в печать 01.12.2025. Формат 60x84 1/8.
Усл. печ. л. 14,42. Уч.-изд. л. 8,29. Заказ 150.

Издательство Бурятского госуниверситета им. Д. Банзарова
670000, г. Улан-Удэ, ул. Ранжурова, 4 rio@bsu.ru