СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

БОРИСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием

Красноярск, 25–26 октября 2023 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Сибирский федеральный университет
Политехнический институт
Ассоциация выпускников КГТУ

БОРИСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции
с международным участием

Красноярск, 25–26 октября 2023 г.

Красноярск
СФУ
2024

УДК 621(063)+629(063)+620.9(063)
ББК 30я431+31я431+39я431
Б825

Оргкомитет конференции:
А. В. Колотов, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе Политехнического института Сибирского федерального университета;

И. А. Капошко, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по учебной работе Политехнического института Сибирского федерального университета;

С. С. Морозов, заместитель директора по воспитательной работе Политехнического института Сибирского федерального университета

Б825 **Борисовские чтения** : материалы IV Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. Красноярск, 25–26 октября 2023 г. / отв. за вып. А. В. Колотов. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2024. – 452 с.

ISBN 978-5-7638-4928-8

Конференция посвящена памяти профессора Василия Николаевича Борисова – организатора и первого ректора Красноярского политехнического института. Рассмотрены вопросы инновационных технологий. Представлены результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области машиностроения, транспорта и энергетики.

Предназначены специалистам-производственникам, научно-техническим работникам, аспирантам, магистрантам и студентам технических вузов.

Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов.

Электронный вариант издания см.:
http://catalog.sfu-kras.ru

УДК 621(063)+629(063)+620.9(063)
ББК 30я431+31я431+39я431

ISBN 978-5-7638-4928-8

© Сибирский федеральный университет, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1
ЭНЕРГЕТИКА В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ 11

Подсекция 1. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА 13

Андрияшин С. Н., Латышев Р. Н., Филина О. А.
Разработка тестовой системы зарядки электромобилей
по стандарту CHAdeMO 13

Бабченко Е. Е., Сизганова Е. Ю., Южанников А. Ю.
Сквозные цифровые технологии, реализуемые в рамках
цифровизации современной энергетики 19

Баранова М. П.
Повышение уровня автоматизации системы электроснабжения
напряжением до 35 кВ 25

Берсенев А. С., Южанников А. Ю., Радичевич К. В.
Техноценоз в автоматизированной информационно-измерительной
системе контроля качества электроэнергии 30

Богомолова Ю. И., Левин В. М.
Интегральная оценка технического состояния трансформаторов.
Ожидания и реальность 35

Внуков С. А., Латышев Р. Н., Штанг А. А., Малозёмов Б. В.
Тяговый привод электромобиля 42

Галемов Р. Т., Масальский Г. Б., Коцан М. Ю.
Разработка и исследование модели зарядного устройства
быстрой зарядки АКБ электрического транспорта 48

Горшунов А. А.
Разработка и исследование модели влияния технического состояния
электрооборудования
на надежность систем электроснабжения 54

Деговцов Д. Д., Левин В. М.
Управление ремонтом оборудования электрических сетей
по прогнозируемой наработке на дефект 60

Дедов С. И., Абрамов Е. Ю., Штанг А. А., Xiaogang Wu
Синтез имитационной модели системы зарядки карьерной
аккумуляторной техники по стандарту GB/T 67

Дедов С. И., Щуров Н. И., Абрамов Е. Ю.
Моделирование процессов старения литиевого аккумулятора
электромобиля 73

Зубова Е. В., Тигунцев С. Г.
Снижение уровней высших гармоник в электрической сети 35 кВ
с помощью реактора последовательного включения 77

Иванищев А. С.
Оптимизация распределения генераторов между распределительными
устройствами различных напряжений на блочных электростанциях 83

Кочкин В. Д., Алиферов А. И.
Выделение активной мощности в шлаковой ванне трехфазной
трехэлектродной печи при переплаве отсева феррохрома 90

Красильникова Т. Г., Махмудов К. А.
Идентификация повреждений в линиях сверхвысокого напряжения
путем адаптивного однофазного автоматического
повторного включения 96

Кузнецова О. С., Ханаев В. В.
Анализ управления нагрузкой мелкомоторных
активных потребителей в рамках задач распределенной генерации 102

Максимов А. А., Хацаюк М. Ю., Лупи С.
Применение электромагнитного перемешивателя
в тигельной печи косвенного нагрева 108

Марьяшин С. В., Сизганова Е. Ю., Синенко Л. С.
Применение современных систем быстродействующей
противоаварийной автоматики на ЗРУ 110 кВ 113

Пантелеев В. И., Амузаде А. С., Шевченко В. В., Петухов Р. А.,
Пилюгин Г. А., Сизганов Н. В., Малеев А. В.
Обзор схемотехники силовой электроники беспроводного зарядного
устройства для электротранспорта 118

Рыжов Н. А., Довгун В. П.
Широкополосные демпфирующие фильтры 123

Силуянов Д. К., Филатов А. Н.
Исследование процессов преобразования реактивной мощности
в активную мощность 132

Тремясов В. А., Ондар А. М.
Модель надежности аккумуляторной батареи
в солнечно-дизельной системе генерации 135

Хацаюк М. Ю., Винтер Э. Р.
Исследование режимов электромагнитного литья
алюминиевых сплавов 140

Щуров Н. И., Кравченко Д. П.
Повышение эффективности децентрализованных энергосистем
на базе интеграции возобновляемых источников энергии 146

Подсекция 2. ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА
И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ..... 152

Антолиновская В. М., Землянский Н. А., Челнокова П. А.
Исследование шлакования при совместном сжигании угля
с биомассой 152

Белиловец В. И.
Применение воздушно-алюминиевых генераторов тока
в системах оперативного дистанционного контроля тепловых сетей 157

Бойко Е. А., Лебедев К. В.
Специализированное программное обеспечение
для автоматизированного расчета энергетических паровых котлов 161

Дорожкин А. В., Орлова Е. Г., Феоктистов Д. В.
Создание материалов с функциональными свойствами
для нужд энергетики 167

Енютина Т. А., Гафуров М. М., Воронович А. О., Федотов Е. А.,
Глотов Д. Д., Ефремова З. С., Кыргыз А. В., Гадалкин А. Р.
Способ использования хладонов при ликвидации ЧС 170

Жуйков А. В., Матюшенко А. И., Степанов С. Г., Землянский Н. А.
Исследование совместного горения бурого угля и опилок осины 174

Копань А. В., Жуйков А. В., Чичерин С. В.
Освоение низкоэмиссионной системы сжигания угля 180

Кулагина Л. В., Копиця В. Н., Барабанцов М. А.
Оценка потенциала биогазовых технологий в Красноярском крае
на основе расчета эколого-экономического эффекта 185

Лукин Р. С.
Применение численных методов при оценке прочности зданий
объектов энергетики при ударе воздушного судна 191

Мальцев К. И., Гиль А. В., Абрамов Н. В., Пузырев С. А.
Численное моделирование тангенциальной схемы сжигания
в камерной топке 194

Радзюк А. Ю., Гришаев Д. А.
Влияние неконденсирующихся газов
на параметры кавитационного течения 200

Шаронова О. М., Добросмыслов С. С., Аншиц А. Г.
Влияние дисперсных фракций высококальциевых зол на плотность и прочность тампонажных материалов 205

Секция 2
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ 211

Безруких А. А., Походяев М. А.
Исследование процесса горения косвенной дуги между плавящимися электродами из алюминиевого сплава 213

Брунгардт А. В., Щепин А. Н., Брюховецкая Е. В.
Оценка динамического качества шпинделя 217

Бусыгин С. Л., Довженко Н. Н., Токмин А. М.
Малоцикловая технология производства электродов контактной сварки из металломатичного композита 222

Гаврилова О. А., Непомнящая Е. А., Секацкий В. С.
Анализ нормативной базы в области измерения толщины покрытий 227

Гордеев Ю. И., Бинчуров А. С., Москвичев Е. В., Ясинский В. Б., Филиппов С. В.
Сравнительные свойства модельных материалов с регулярной структурой, полученных аддитивными технологиями 233

Громов Д. А., Мишнев С. В., Демченко А. И., Шустиков И. К.
Технология автоматизации сварки блоков трубчатых электронагревателей 239

Докучаев В. В., Докучаев А. В.
Интегрирование сквозного моделирования технологических процессов и конструкций 243

Докшанин С. Г.
Снижение усталостного износа подшипников качения технологического оборудования применением смазочных материалов с ультрадисперсным наполнителем 249

Докшанин С. Г., Мясовский В. А.
Возможность снижения фреттинг-усталостных повреждений за счет применения ультрадисперсных добавок к смазочным материалам 254

Климов С. А., Носков Ф. М., Кузембаев С. Б.
Исследование микроструктуры и фазового состава карбидостали, полученной индукционной наплавкой 260

Кудрявцев И. В., Морозов С. С., Митяев А. Е.
Особенности определения продольных сил в буровой колонне в условиях плавучести 264

Личадеев И. С., Мирошников А. В.
Использование CFD-моделирования при расчете гидравлического сопротивления в условиях экспериментального производства 270

Лукин Р. С.
Экспериментальная оценка с применением численных методов вибрационного воздействия сухих трансформаторов на окружающие объекты 276

Масанский О. А., Квеглис Л. И., Токмин А. М., Масанский С. О., Кузембаева Л. С.
Состояние и перспективы получения и производства металломатричных композиционных материалов 279

Сочнев А. Н., Голых Ю. Г.
Классификация и кластеризация продукции на основе самообучаемой нейронной сети 283

Шайхадинов А. А., Ерлыков А. В., Апанасенко В. А., Дубяго А. О.
Рабочие механизмы для бестраншейного ремонта трубопроводов разного диаметра 289

Шустиков И. К., Демченко А. И., Громов Д. А.
Технология изготовления двутавровой балки с синусоидальной стенкой 294

Ягодин Д. И., Чуруксаев И. А., Александрова В. Г., Демиденко А. Е., Озол К. А., Гильманшина Т. Р., Дубова И. В., Ковалева А. А., Богданова Т. А., Крицкий Д. Ю.
Разработка установки для исследования свойств разделительных покрытий при высоких температурах 298

Секция 3
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТА 303

Авдеев Р. М., Игнатьев Д. С., Ковалевский К. И.
Модернизация стенда для проведения экспериментальных исследований абразивоструйной очистки 305

Воеводин Е. С., Акулов К. А.
Взаимодействие автомобилизации с природой и обществом 309

Воеводин Е. С., Акулов К. А., Морозова Е. А.
Выбор метода исследования интенсивности износа шин 313

Воеводин Е. С., Бакланов А. А.
Текущее состояние сети зарядных станций в Красноярске 318

Кашура А. С., Бакланова К. В., Воеводина Е. С.
Причины аварийности на подъезде к красноярской
городской агломерации 322

Крылов Д. В., Катаргин В. Н., Камольцева А. В.
Структура входящего потока заказ-нарядов дилера
отечественного автомобиля 326

Кутуров Д. В., Катаргин В. Н., Камольцева А. В.
Проблемы эксплуатации двигателей внутреннего сгорания
Hyundai 331

Лыжина М. С., Фадеев А. И.
Совершенствование интермодальных контейнерных перевозок
в автомобильно-железнодорожном сообщении
в условиях неопределенности спроса 336

Маков В. Н., Фомин Е. В.
Современные проблемы логистики автосервисного предприятия 341

Мальчиков С. В., Лежиков С. В., Шадрин Н. В.
Анализ стоимости владения автомобилем
с различной силовой установкой 348

Морозов Д. А., Трубач Е. В.
Анализ решений по оценке сложности выполнения работ
в различных отраслях 352

Николаева Д. Н., Горбунова Л. Н.
Определение расстояния датчика системы аварийного останова
ленточного конвейера 355

Фадеев А. И., Алхуссейни С.
Мониторинг спроса городского пассажирского транспорта общего
пользования посредством данных валидации электронных
проездных билетов 358

Фомин Е. В., Майер А. А.
О возможности влияния увеличения скорости сообщения
общественного транспорта на спрос у жителей города 363

Шадрин Н. В.
Обеспечение безопасности движения на участках
улично-дорожной сети с недостаточной шириной проезжей части 367

Школин Я. Н.
Совершенствование городских перевозок грузов 369

Шмыков Н. П.
Совершенствование логистической системы
нефтегазодобывающего месторождения 374

Секция 4

ENGLISH FOR SPECIFIC PURPOSES 381

Antolinovskaya V. M., CHelnokova P. A., Zemlyanskij ***N. A.***
Investigation of slagging at co-combustion of coal with biomass 383

Bochkareva M. V.
Improvement of the method of passenger flow survey
on public transportation with the use of artificial intelligence 387

Boldina A. V.
Buyback as an effective way to prevent financial losses
of industrial companies 392

Filippov S. V., Binchurov A. S., Gordeev Y. I., Yasinskiy V.B.
Modeling of milling processes when obtaining surfaces
with an equiaxial contour 398

Germanchyk A. V., Lyuik A. A.
Mandatory certification of goods in Russia 402

Gordeev Yu. I., Binchurov A. S., Moskvichev E. V.,
Yasinsky V. B., Filippov S. V.
Computational propertties of a model material of regular structures
obtained by additive technologies 405

Kochergina A. D.
Features of the design of liquid metal induction
magnetohydrodynamic stirrers 410

Kozhemyakin V. E.
Challenges for small and micro hydropower in the world 413

Martynov A. Y.
Challenges and considerations for the widespread use
of carbon fiber in the automotive industry 419

Nekhorosheva A. V., Terenteva D.A.
Importance of standardization in quality management at enterprises 423

Nikitina T. N.
On the $\left(\bar{\partial}u\right)^k$ - equation on positive currents of higher bidegree 427

Parilova D. A.
Cut gem «The star of David» 432

Siluyanov D. K.
Research of transformation processes reactive power to active power 436

Velmiskin P. V.
Production and transportation of thermal and electrical energy
of Berezovskaya SDPP 439

Секция 5
ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ 441

Баяндина О. В.
Организационно-педагогические условия развития универсальных компетенций студентов технических направлений подготовки на дисциплинах профессионального цикла 443

Гадалов Д. И., Осипова С. И.
Значимость презентационной компетентности для инженерного образования 447

Секция 1

ЭНЕРГЕТИКА В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

. . . . . .

Подсекция 1

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА
И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

. . . . . .

Подсекция 2

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА
И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

. . . . . .

Подсекция 1

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 622.6, 621.31

РАЗРАБОТКА ТЕСТОВОЙ СИСТЕМЫ ЗАРЯДКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ ПО СТАНДАРТУ CHADEMO

С. Н. Андрияшин[1], Р. Н. Латышев[2], О. А. Филина[3]

[1, 2] Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
[3] Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия
[1]andriyashin.2014@corp.nstu.ru

Введение

На сегодняшний день сформировалась устойчивая тенденция увеличения количества индивидуальных и общественных электротранспортных средств (ЭТС). Современный автопарк электромобилей и гибридов составляет 16,2 млн ед. по состоянию на первый квартал 2022 г., однако темпы его роста таковы, что к 2030 г., по прогнозам Международного энергетического агентства, глобальный автопарк может достичь 230 млн ед. [1]

В научном сообществе все чаще поднимаются вопросы, связанные с нулевым уровнем выбросов. Например, исследования деградации аккумуляторов, содержащихся в электромобилях, являются чрезвычайно популярным направлением по всему миру [2]. Активно изучаются элементы инфраструктуры зарядки [3]. Разрабатываются имитационные модели поведения электромобиля во время зарядки для обеспечения функций безопасной диагностики работы зарядных станций ЗС. Активно изучаются процессы взаимодействия электромобилей с электросетями, в частности, снижение нагрузки на сеть и возврат электроэнергии от автомобильного аккумулятора (V2G) [4].

Рост рынка электромобилей и подзаряжаемых гибридов закономерно связан с развитием зарядной инфраструктуры. Так, в конце 2020 г. в мире насчитывалось около 10,8 млн зарядных станций, из которых 1,3 обще-

© Андрияшин С. Н., Латышев Р. Н., Филина О. А., 2024

ственные. На конец 2021 г. количество общественных станций увеличилось почти в 1,5 раза и составило 1,9 млн пунктов [1]. Развитие зарядных станций и их инфраструктуры сопряжено с рядом факторов, одним из которых является необходимость наличия материально-технической и исследовательской базы для создания новых и тестирования уже готовых зарядных пунктов.

В качестве решения вопроса материально-технического обеспечения нами предложена разработка собственного полнофункционального эмулятора ЭТС и диагностического модуля. На первом этапе была разработана базовая имитационная модель системы зарядки электромобилей по стандарту CHAdeMO. Модель представляет собой ЗС и ЭТС, связанные электрической силовой схемой и взаимодействующих по условиям, описанным в [2].

Результаты тестирования разработанной модели и анализ функционирования алгоритмов работы ЗС позволили перейти ко второму этапу разработки эмулятора ЭТС – созданию тестовой системы зарядки электромобиля по стандарту CHAdeMO, процесс разработки которой описан в данной статье.

Описание базовой модели системы CHAdeMO

Нами была разработана модель с учётом требований стандарта IEEE Std 2030.1.1–2015. Общий вид разработанной имитационной модели представлен на рис. 1.

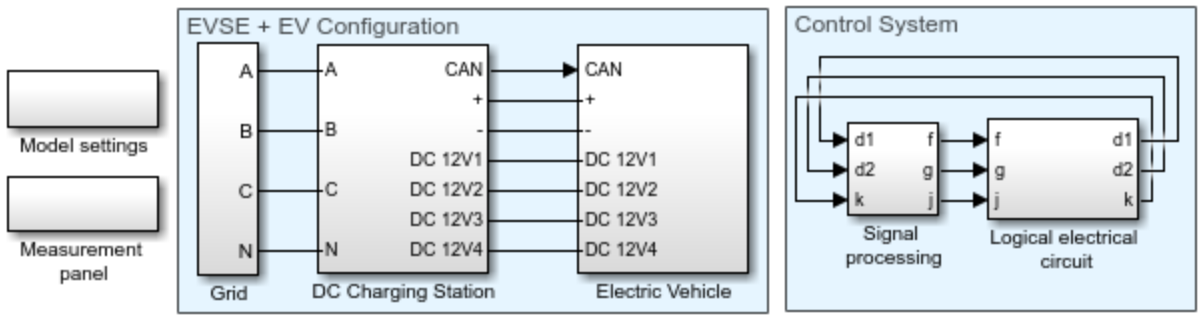


Рис. 1. Структурная схема модели в Matlab Simulink

Управление осуществляентся подсистемой Control system. Блок Measurement panel обеспечивает сбор таких параметров, как уровень заряда, напряжение АКБ, ток и напряжение на выходе силового преобразователя ЗС, ток утечки и пр. Также фиксируются состояния коммутационных устройств и уровни логических сигналов системы коммуникации, которые выводятся в виде осциллограмм.

В подсистеме Model settings задаются исходные значения основных переменных, определяющих технические характеристики зарядной станции и электромобиля.

Результаты тестирования в Matlab Simulink показали, что моделирование процесса зарядки аккумулятора по стандарту CHAdeMO выполняется корректно. При этом алгоритм управления выполняется строго в соответствии с заданной последовательностью, как на этапе подключения и начала зарядки, так и в процессе сессии.

Разработка тестовой системы зарядки

Полученные данные имитационного моделирования были использованы для разработки тестовой системы зарядной станции, включающей программируемый логический контроллер (ПЛК) Phoenix Contact EV-PLCC-AC1-DC1, силовой DC/DC преобразователь Siemens Sinamic DCP, вторичные цепи сигнализации и блокировок, которые совместно участвуют в управлении процессом быстрой зарядки аккумуляторов электромобилей с коннектором CHAdeMO. Это соответствует созданию зарядного устройства третьего уровня (Level 3) по стандарту SAE J1772, четвертого вида (Mode 4) по стандарту BS EN 61851-1.

На рис. 2 представлен внешний вид стенда тестовой системы зарядки.

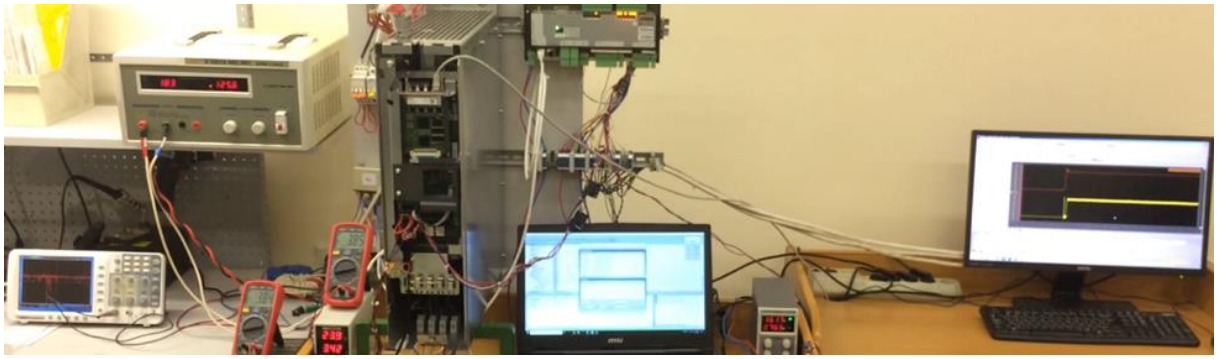


Рис. 2. Внешний вид тестовой системы зарядки EV

Процесс заряда сопровождается обменом информации между ЭТС и ЗС не только с помощью дискретных сигналов по цепям DC 12V, но и по интерфейсу CAN. Зарядная сессия предполагает обмен пакетами с информацией о максимально допустимом и целевом значениях напряжения батареи, времени заряда, емкости АКБ, уровне заряда, различных флагах со стороны электротранспортного средства, о доступных выходных токе и напряжении, затрачиваемом времени на зарядку, текущим выходном напряжении, зарядном токе и флагах статуса со стороны зарядной станции. Представленная информация содержится в кадрах с ID 100, 101, 102 и 108, 109 соотвественно. Прикладное программное ПО написано самостоятельно без использования готовых библиотечных блоков в среде разработки PC WORX на языке структурного текста (ST).

Обсуждение результатов

Разработанная система зарядки была протестирована с помощью специализированного эмулятора электромобиля с интерфейсом CHAdeMO, предназначенного для испытаний зарядных станций при их производстве. Эмулятор имеет мощность нагрузки 35 кВт и поддерживает максимально допустимое напряжение на силовых контактах 500 В. В дополнение к эмулятору при проведении тестирования использовался разработанный анализатор информационного обмена, позволяющий отслеживать корректность передачи данных в системе «ЗС-ЭТС» и последовательность этапов зарядной сессии. Пользовательский интерфейс и интерфейс для сервисного обслуживания панели управления, а также интерфейс эмулятора представлены на рис. 3.



Рис. 3. Показания эмулятора и зарядной станции во время зарядной сессии

Сравнительный анализ результатов испытаний на эмуляторе с требованиями, установленными в стандартах IEEE Std. 2030.1.1–2015 и ГОСТ МЭК 61851–23, показал, что все этапы зарядки проходят в необходимой последовательности, операции переключения дискретных сигналов и изменния состояний зарядной станции соблюдают требуемые тайм-ауты, а значения физических параметров укладываются в допустимые пределы. Таким образом, сделан вывод, что при работке с эмулятором зарядная система выполняет свои функции корректно.

После успешных тестов зарядной системы на эмуляторе были проведены многократные натурные испытания процесса заряда аккумулятора электромобиля Nissan Leaf, результаты которых подтвердили работоспособность разработанного опытного образца двухсистемной зарядной станции – процесс заряда запускается, протекает и завершается в нормальном режиме без возникновения ошибок, как со стороны зарядной системы, так и со стороны транспортного средства.

В ходе испытаний зафиксированы зарядные токи и напряжения (рис. 4), а также получены осциллограммы, свидетельствующие о достижении цифрового обмена информацией (рис. 5), предусмотренного стандартами быстрой зарядки CHAdeMO. Таким образом, опытным образцом зарядной станции обеспечен штатный режим заряда аккумуляторной батареи.

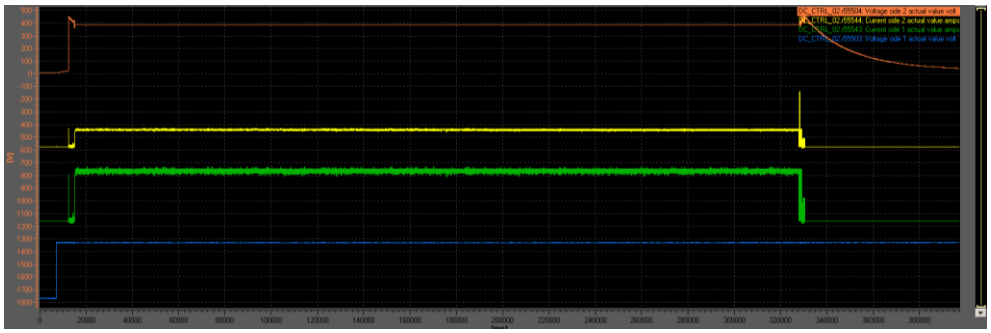
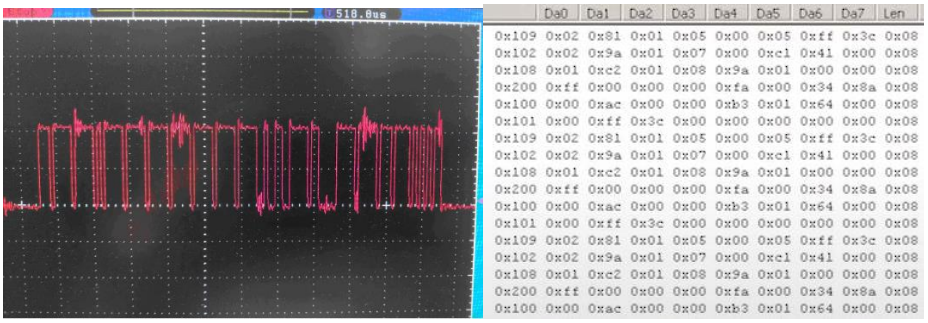


Рис. 4. Осциллограмма процесса зарядки, реализованного на тестовой системе



а *б*

Рис. 5. Коммуникация по протоколу CAN:
а – осциллограмма CAN посылки; *б* – фрагмент снятых CAN-телеграмм

Результаты испытаний показали, что разработанная двухсистемной система зарядки работает правильно во всем диапазоне мощности, доступном для используемого преобразователя постоянного тока, и может быть использована для решения дальнейших задач по исследованию и разработке зарядных систем. Система показала стабильную и корректную работу при питании от сети переменного тока 0,4 кВ и при питании от источника постоянного напряжения в диапазоне входных напряжений от 100 до 600 В. При работе с низкими зарядными токами (вплоть до 5 А) пульсации тока не превышали 3 %.

Заключение

Эта статья представляет разработку тестовой системы зарядки по стандарту CHAdeMO. Основными элементами зарядной системы являются ПЛК Phoenix Contact EV-PLCC-AC1-DC1, силовой DC/DC преобразователь Siemens Sinamic DCP.

После отладки принципов управления разработанная система зарядки была протестирована с помощью специализированного эмулятора электромобиля мощностью 35 кВт. Также были проведены многократные натурные испытания процесса заряда аккумулятора электромобиля Nissan Leaf. Результаты всех тестов и испытаний показали, что разработанная двухсистемная система зарядки работает в соответствии с требованиями

стандартов IEEE Std. 2030.1.1–2015 и ГОСТ МЭК 61851–23 во всем диапазоне мощности, доступном для используемого преобразователя постоянного тока.

На текущий момент использование представленного специализированного контроллера не является доступным решением для создания серийных зарядных станций и сопряжено с рядом трудностей при создании ПО системы управления, поэтому полученный опыт и результаты используются для разработки отечественных зарядных станций и технических средств для их диагностики и тестирования. Кроме этого, разработанная двухсистемная система заряда используется в качестве учебного экспериментального стенда.

Список источников

1. Дедов С. И., Штанг А. А., Абрамов Е. Ю. Исследование деградации аккумуляторов в составе тяговой установки карьерных самосвалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 12. С. 102–114. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_122_0_102.

2. Lingyu Meng, Guofa Wang, Khay Wai See. Large-Scale Li-Ion Battery Research and Application in Mining Industry // Energies. 2022. Vol. 15(11). P. 1–31. DOI: 10.3390/en15113884.

3. Lindgren L., Grauers A., Ranggård J., Mäki R. Drive-Cycle Simulations of Battery-Electric Large Haul Trucks for Open-Pit Mining with Electric Roads // Energies. 2022. Vol. 15, N 4871. P. 1–19. DOI: 10.3390/en15134871.

4. Polnik B., Kaczmarczyk K., Niedworok A., Baltes R., Clausen E. Energy recuperation as one of the factors improving the energy efficiency of mining battery locomotives // Management Systems in Production Engineering. 2020. N 4(28). P. 253–258. DOI: 10.2478/mspe-2020-0036.

УДК 004.6

СКВОЗНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, РЕАЛИЗУЕМЫЕ В РАМКАХ ЦИФРОВИЗАЦИИ СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Е. Е. Бабченко[1], Е. Ю. Сизганова[2], А. Ю. Южанников[3]

[1, 2, 3]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]julius-lizok@mail.ru

Введение

Главной задачей данной работы является исследование возможностей практического применения сквозных цифровых технологий (СЦТ) для организации и функционирования единого информационного пространства в сфере учета электроэнергии, автоматизации решения технологических задач, выполнения расчетно-аналитических функций. В работу не включено создание новых цифровых технологий для использования, а проводится оценка и анализ уже существующих продуктов и того, как реализуется их использование.

Актуальность

В настоящее время цифровые технологии (ЦТ) развились и стали одним из главных факторов роста и технологического развития современной энергетики. Внедрение ЦТ способствует созданию новых возможней для различных отраслей энергетики. Оцифровка информации энергосистем позволит повысить скорость и производительность работы, а также улучшит обмен информацией в реальном времени. При формировании балансов и расчете потерь мощности могут возникнуть вычислительные ошибки, которых можно избежать, применяя ЦТ и используя базу данных за предыдущие периоды расчетов.

Сквозные цифровые технологии, реализуемые в рамках перехода к цифровой энергетике

Современный мир все больше опирается на цифровые технологии, которые постепенно внедряются в различные сферы производства, что дает преимущество перед конкурентами. Энергетика не исключение. Еще с советских времен сфера электроэнергетики является важным достоянием. Поэтому обновлением устаревшего оборудования, цифровая трансформа-

© Бабченко Е. Е., Сизганова Е. Ю., Южанников А. Ю., 2024

ция и использование цифровых технологий являются актуальной задачей современного развития, которая поспособствует повышению рентабельности [1].

Цифровая трансформация (цифровизация) – это преобразование имеющейся, полученной информации в формат, который является подходящим для обработки компьютером.

Цифровая трансформация электроэнергетики – это процесс, который включает в себя внедрение современных информационных технологий во все аспекты энергетической инфраструктуры. Она охватывает не только генерацию, передачу и распределение электроэнергии, но и учет, мониторинг, анализ данных, управление оборудованием и даже взаимодействие с потребителями. Основная цель цифровой энергетики – обеспечить более эффективное, надежное и устойчивое функционирование энергетической системы.

Одним из ключевых аспектов цифровой энергетики являются сквозные цифровые технологии. СЦТ – это инновационные решения и инструменты, которые обеспечивают единое информационное пространство для всей энергетической системы. Эти технологии позволяют интегрировать различные сегменты энергетической инфраструктуры, собирать и обрабатывать данные в режиме реального времени, автоматизировать процессы управления и принятия решений, а также повышать эффективность и точность расчетов.

В табл. 1 приведен рейтинг сквозных цифровых технологий, используемых в промышленности, по их значимости [4]:

Таблица 1

Рейтинг сквозных цифровых технологий по индексу значимости

Ранг	Технологии	Индекс значимости
1	Промышленные роботы	1,0
2	Искусственный интеллект	0,86
3	Машинное обучение	0,68
4	Цифровое прототипирование	0,56
5	Сенсорика	0,42
6	Беспроводная связь WLAN, PAN, RFID	0,30
7	Блокчейн	0,21
8	Большие данные	0,20
9	Виртуальная и дополненная реальность	0,12
10	Компьютерное зрение	0,03
11	Интернет вещей (IoT)	0,03
12	Цифровой двойник	0,02

Индекс значимости технологии показывает ее относительную встречаемость в массиве источников за 2020 г., где «1» соответствует максимальному числу упоминаний. При расчете учитываются частота встречаемости термина, его специфичность и векторная центральность. Частота встречаемости сама по себе недостаточна для отражения реальной актуальности термина, важно, чтобы он обозначал конкретное научно-технологическое направление и не был слишком общим (показатель специфичности), а векторная центральность отражает степень его связи с другими направлениями научного поиска [4].

В энергетической индустрии используются следующие ключевые сквозные цифровые технологии:

1. Для визуального контроля различных объектов используются промышленные роботы и дроны, которые оснащены камерами и датчиками высокого разрешения. Данные, собранные техникой, передаются в специальное программное обеспечение, которое потом обрабатывает и интерпретирует информацию в цифровом формате. Эти устройства дают возможность исследовать труднодоступные объекты. Преимуществами этого вида технологий являются: повышение эффективности и снижение затрат, повышение безопасности персонала, принятие решений на основании объективной информации об объекте обследования, оперативность сбора данных [5].

2. Аналитика данных и искусственный интеллект: алгоритмы машинного обучения и анализа данных используются для прогнозирования спроса на энергию, оптимизации процессов и выявления аномалий в работе систем.

Искусственный интеллект и предиктивная аналитика используются во всех элементах цепочки создания стоимости. Преимуществами внедрения этого вида технологий является сокращение времени ремонта и затрат на техническое обслуживание за счет: сокращения незапланированных прерываний работы, повышения эффективности работы оборудования, долгосрочное сокращение капитальных затрат [5].

3. Интернет вещей (IoT – Internet of Things): с помощью датчиков и устройств, подключенных к сети, можно собирать данные о работе оборудования и потреблении энергии в реальном времени. Это позволяет оптимизировать производство, улучшать энергоэффективность и управлять участками сети.

На основе интернета вещей создаются такие системы, как «умный» дом и «умные» сети. Принцип действия основан на формировании единой цифровой модели сети и обеспечении интеграции информационных систем на базе единой модели. Преимущества: обеспечение надежности электроснабжения за счет балансировки электросети, интеграция новых потребителей (например, электромобили), принятие решений в области инвести-

ционной деятельности на основании больших данных, повышение эффективности деятельности персонала [5].

4. Блокчейн: технология блокчейн может применяться для обеспечения безопасной и прозрачной записи транзакций, таких как сделки с электроэнергией, и обеспечения учета поставок и сборов.

5. Беспроводная связь и облачные вычисления: облачные платформы позволяют хранить и обрабатывать большие объемы данных, а также предоставлять доступ к приложениям и ресурсам из любой точки мира, что упрощает управление и мониторинг энергетических систем.

6. Цифровой двойник: создание цифрового двойника (цифровой копии) энергетической системы позволяет моделировать и анализировать ее работу в виртуальной среде, что упрощает оптимизацию и планирование.

С ростом использования цифровых технологий в энергетике становится очень важным обеспечение безопасности систем от кибератак и утечки данных. Поэтому появляется такое направление, как кибербезопасность.

Применение сквозных цифровых технологий в современных энергетических компаниях имеет значительные преимущества. *Во-первых*, они позволяют собирать и анализировать большие объемы данных о состоянии оборудования, потреблении энергии и других параметрах энергетической системы. Это обеспечивает оперативное выявление и устранение неисправностей, что способствует повышению надежности и уменьшению потерь электроэнергии. *Во-вторых*, сквозные цифровые технологии облегчают автоматизацию управления и принятие решений. Системы искусственного интеллекта и аналитики данных позволяют предсказывать изменения в энергетической нагрузке, оптимизировать распределение электроэнергии и планировать техническое обслуживание оборудования. Это способствует снижению операционных расходов и повышению эффективности производства.

В настоящее время мало кто сомневается в том, что цифровизация является одним из важнейших факторов в развитии различных сфер жизни, в т. ч. и электроэнергетики. Это также подтверждается словами главы страны: «Если кто-то сможет обеспечить монополию в сфере искусственного интеллекта, то последствия нам всем понятны – тот станет властелином мира» (Президент РФ В. В. Путин, 30.05.2019), а также чиновников и руководителей энергетических компаний: «Решающее значение в большинстве секторов промышленности, в т. ч. в электроэнергетике, будет играть интеллектуализация и цифровизация» (вице-премьер РФ А. В. Новак, 18.12.2020) и «Основой для будущих процессов трансформации в электроэнергетике станет цифровизация сетей» (генеральный директор ПАО «Россети» П. А. Ливинский, 03.10.2018) [2].

Актуальность научного обоснования стратегических решений по цифровой трансформации энергетики объясняется необходимостью решения нескольких проблем, которые возникают в этом процессе. Как ука-

зывается в экспертно-аналитическом докладе «Цифровой переход в электроэнергетике России» [3] Центра стратегических разработок, многие развитые страны мира в настоящее время реализуют сценарии, которые направлены на изменение структуры электроэнергетики с учетом интересов клиентов и создания распределенных энергетических систем. Этот процесс называется *энергетическим переходом* и предполагает масштабное внедрение распределенных возобновляемых источников энергии, участие частных инвесторов и формирование децентрализованных рынков. Важной частью этого процесса является интеллектуализация инфраструктуры и переход потребителей к активным моделям потребления, при которых потребители становятся производителями электроэнергии. Для энергетической системы России существуют уникальные вызовы, включая наличие больших традиционных энергетических ресурсов, обширную и малонаселенную территорию с низкой плотностью населения, а также специфические социально-экономические факторы. Но в то же время, эти вызовы пересекаются с глобальными трендами и вызовами, которые стоят перед странами, имеющими схожие условия. Это означает переход к новой технологической парадигме в энергетике, в которой розничный сектор энергоснабжения рассматривается как экосистема, объединяющая производителей и потребителей энергии, которые могут взаимодействовать между собой и обмениваться энергией. Этот подход, аналогичный взаимодействиям в сфере информационных технологий, также известен как *интернет энергии* (Internet of Energy) [3].

Выводы

Сквозные цифровые технологии играют важную роль в цифровой трансформации электроэнергетики. Их применение может повысить эффективность и надежность работы энергетической системы, снизить потери электроэнергии и способствовать реализации экономически выгодных проектов. Основной задачей современных энергетических компаний является интеграция и оптимальное использование этих технологий для достижения наилучших результатов. Таким образом, была обоснована эффективность использования цифровых технологий при анализировании данных, автоматизации рабочего процесса, а также при формировании балансов и расчете потерь электроэнергии.

Список источников

1. Цифровая трансформация электроэнергетики [Электронный ресурс] // CONOMY.RU. 2021. URL: https://dzen.ru/a/YcGay67U2kmOyYFR?utm_referer=yandex.ru.

2. Цифровые технологии в энергетике : видеолекция [Электронный ресурс] // Университет Иннополис. 2022. URL: https://www.youtube.com/watch?v=2dYxFbn_8iU&ab_channel=УниверситетИннополис.

3. Цифровой переход в электроэнергетике России: экспертно-аналитический доклад [Электронный ресурс] // Центр стратегических рахработок. М., 2017. URL: https://www.csr.ru/uploads/2017/09/Doklad_ energetika-Web.pdf.

4. Топ-15 цифровых технологий в промышленности [Электронный ресурс] / ИСИЭЗ. М., 2023. URL: https://issek.hse.ru/news/494926896.html.

5. Цифровая трансформация энергетики [Электронный ресурс] // Ассоциация «Цифровая энергетика». Презентационный материал. М., 2020. URL: https://www.digital-energy.ru/wp-content/uploads/2020/04/strategiya-tsifrovoy-transformatsii-elektroenergetiki.pdf.

УДК 662.62

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 35 кВ

М. П. Баранова

Красноярский государственный аграрный университет,
Красноярск, Россия
marina60@mail.ru

Введение

Распределительные сети (РС) 0,4–10 кВ в сельской местности, как правило, включают в себя воздушные линии (ВЛ), кабельно-воздушные линии (КВЛ) и трансформаторные подстанции (ПС), получающие питание от ПС 35–220/6(10) кВ и опорных распределительных пунктов 6(10) кВ). Такие распределительные сети обеспечивают электроснабжение не только крупных агрохолдингов, но и небольших населенных пунктов, подсобных хозяйств, садовых участков. Большая протяженность РС, дефицит персонала, спецтранспорта в эксплуатирующих организациях, отсутствие комплексной автоматизации, а также недостаточное финансирование работ по реконструкции и техперевооружению РС привели к нарастанию износа оборудования, конструкций и материалов, росту потерь электроэнергии, к снижению надежности и безопасности электроснабжения [1, 2].

По данным ПАО «Россети» (ранее ОАО «Холдинг МРСК»), 10 лет назад степень износа электросетевых объектов составляла 69 %. В сетях 6 (10) кВ происходило до 30 отключений в год в расчете на 100 км линий, в сетях 0,4 кВ – до 100 отключений в год. В настоящее время статистика осталась прежней. В то же время перерывы в питании сельскохозяйственных производств не должны превышать двух часов. При более длительных перерывах производитель понесет значительный урон от недоотпуска продукции, выбраковки и даже гибели животных. Системы коммунальной инфраструктуры, медицинские, школьные, зрелищные и спортивные учреждения, транспорт и т. д. не допускают перерыва в питании или допускают его только на время действия АВР [3, 4].

Потери электроэнергии в РС составляют около 30–35 % от общесетевых, но с учетом коммерческих потерь вырастают до 60 %. По статистике уровень потерь электроэнергии в сельских сетях в два раза выше, чем в аналогичных городских сетях. Низкая надежность сетей электроснабжения в сельской местности, отсутствие централизованных систем тепло-

© Баранова М. П., 2024

и водоснабжения, охват газификацией около 30 % населенных пунктов вынуждает население мигрировать из сел в города и останавливать сельскохозяйственного производство. Для повышения уровня жизни на селе, развития малых городов, с целью укрепления продовольственной безопасности страны, обеспечения населения РФ отечественными продуктами питания и снижении зависимости от импорта необходимо создать прочную энергетическую базу на селе. В настоящее время сельский электросетевой комплекс РФ не соответствует требованиям современных электроприемников к надежности электроснабжения и качеству электроэнергии из-за изношенности оборудования, низкого уровня управления и обслуживания [2–4].

Правительство РФ проводит политику стимулирования инновационной деятельности, в т. ч. в электроэнергетике. Государство поддерживает внедрение новых технологий, уделяя внимание энергоэффективности, возобновляемым источникам энергии, а также развитию интеллектуальных технологий в электроэнергетике. Одной из приоритетных и актуальных задач является разработка оперативной и надежной автоматизированной системы управления энергосетей [3].

Целью работы было обоснование и разработка мероприятий по повышению уровня автоматизации с применением цифровых технологий на ВЛ и КВЛ до 35кВ.

Повышение уровня автоматизации системы электроснабжения напряжением до 35 кВ с применением цифровых технологий

Автоматизация распределительных сетей направлена на повышение надежности и стабильности работы энергосистемы, что позволит отслеживать состояние электрической сети и будет способствовать оперативной ликвидации повреждений и осуществлению контроля качества электроэнергии. Внедрение средств телемеханики и АСУ ТП на подстанциях и распределительной сети позволит не только эффективно решать задачи диспетчерского управления, но и обеспечивать сбор и передачу информации от контролируемых пунктов на диспетчерский пункт [5, 6, 8].

В работе установлена возможность повышения автоматизации участка сети Емельяновского РЭС. Произведен выбор и установка оборудования на воздушной линии 10 кВ фидера 88-3. Разработано два варианта схемы сети с разным численным составом дополнительного оборудования и различными местами их установки в схеме распределительной сети 10 кВ, что обусловлено необходимостью выбора лучшего варианта топологии сети, при котором достигаются эффективные показатели надежности при оптимальном наполнении распределительной сети дополнительным оборудованием.

Повышение уровня автоматизации фидера 88-3

Воздушная линия электропередачи 10 кВ в Емельяновском районе фидер 88-3 (однолинейная схема представлена на рис. 1, *а*) получает питание от подстанции 35/10 кВ «Талая».

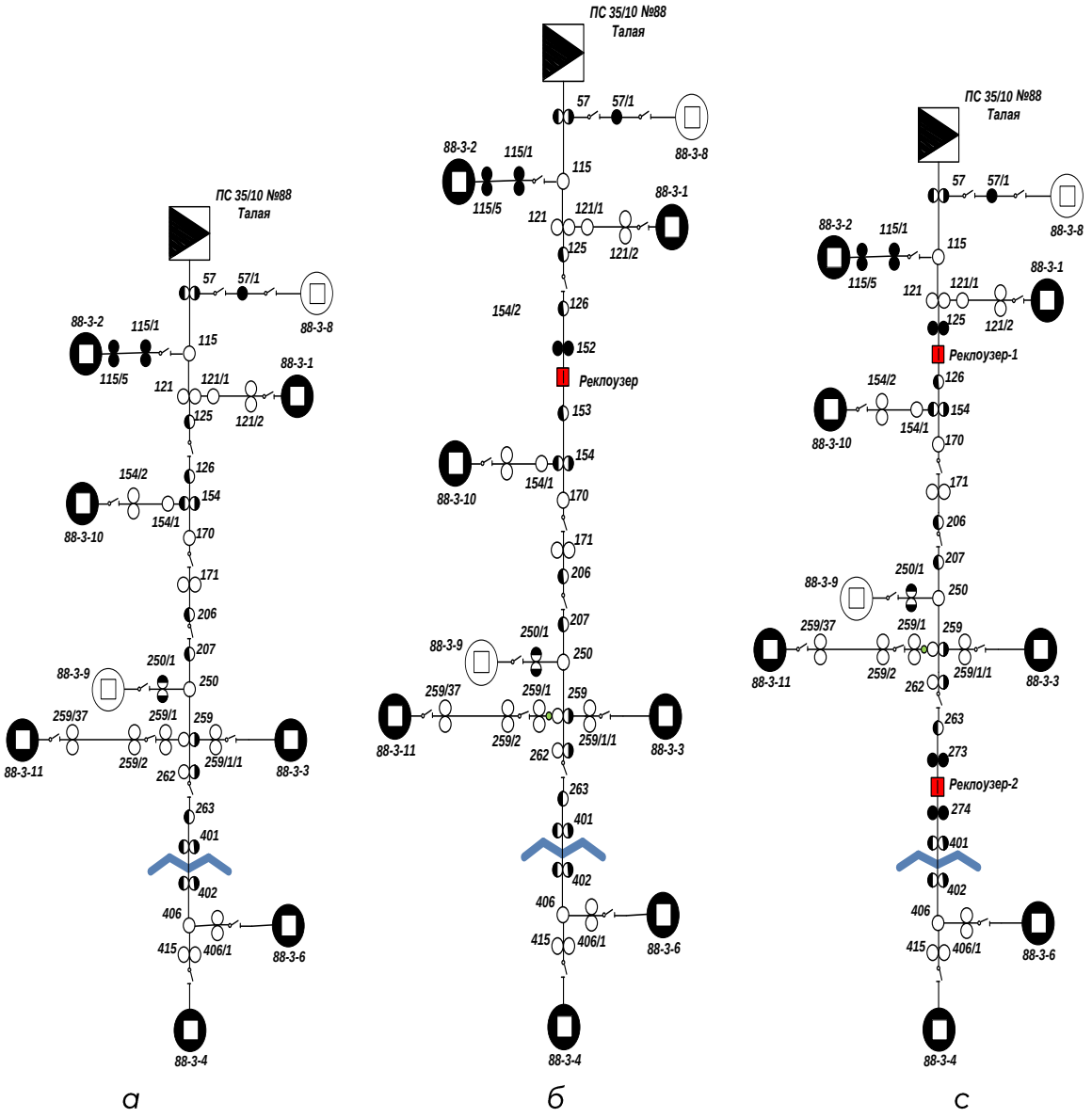


Рис. 1. Фидер 88-3: *а* – вариант 1 (исходный);
б – фидер 88-3 (вариант 2); *в* – фидер 88-3 (вариант 3)

ЛЭП протяженностью около 32 км обеспечивает электроэнергией четыре населенных пункта: Талое, Красное Знамя, Покровка и Медведа. Помимо этого, от данного фидера электроснабжение получает несколько фермерских хозяйств и других предприятий среднего и малого бизнеса.

Эта ЛЭП проходит по густому таежному лесу с многочисленными болотами, что очень затрудняет ее обслуживание и ремонт. Аварийные ситуации происходят не только по причине большой изношенности, но и из-за падения

сухостоя и схлестывания проводов кронами деревьев во время сильных ветров. Повышение автоматизации воздушной линии позволит повысить надежность электроснабжения четырех населенных пунктов района [5, 8].

Для повышения надежности и сокращения перерывов электроснабжения потребителей фидера 88-3 в схеме был установлен один реклоузер для секционирования сети. Был выделен участок с большим временем устранения повреждения (труднодоступный участок). В начале отпаек, имеющих большую протяженность, для более быстрого выявления локации короткого замыкания были установлены индикаторы тока короткого замыкания, позволяющие значительно сэкономить время на поиске повреждения. Схема с установленными аппаратами представлена на рис. 1, *б*.

Для сокращения зон секционирования, с целью сокращения поиска повреждения в распределительной сети фидера 88-3 была разработана схема с двумя реклоузерами. *Реклоузер 1* установлен в начале зоны труднодоступных участков, а *реклоузер 2* делит данную зону пополам. При этом *реклоузер 2* установлен на участке сети, где не затруднен подъезд к линии. Схема «вариант 3» с установленными аппаратами представлена на рис. 1, *в*.

Для установления эффективности работы реклоузеров был проведен расчет показателей надежности и эффективности SAIDI, SAIFI, RNRE рассматриваемого фидера (табл. 1). Анализ полученных данных показал, что наиболее технически и экономически выгодным вариантом повышения надежности распределительной сети является вариант 3.

Таблица 1

Значения показателей надежности и эффективности фидера 88-3

Фидер	Вариант	SAIFI	SAIDI	RNRE
88-3	Вариант 1 (исходный)	3,753	13,891	–
	Вариант 2	1,876	4,166	0,5
	Вариант 3	1,169	2,59	0,688

Установка реклоузеров сопряжена с достаточно большими финансовыми затратами, поэтому существуют определенные ограничения количества реклоузеров, которое требуется для повышения надежности. Из табл. 1 следует, что с увеличением числа устанавливаемых реклоузеров на фидере снижается динамика эффективности их установки. Поэтому количество реклоузеров необходимо определять исходя из технико-экономического обоснования.

Выводы

Таким образом, в ходе работы была рассмотрена возможность повышения автоматизации участка сети Емельяновского РЭС. Представлено

описание решений по выбору и установке оборудования на воздушной линии 10 кВ фидера 88-3.

Разработаны два варианта схемы сети с разным численным составом дополнительного оборудования и различными местами их установки в схеме распределительной сети 10 кВ, что обусловлено необходимостью выбора лучшего варианта топологии сети, при котором достигаются эффективные показатели надежности при оптимальном наполнении распределительной сети дополнительным оборудованием.

Установлено, что наиболее эффективным вариантом автоматизации фидера 88-3 является схема варианта 3, поскольку этот вариант является технически и экономически наиболее выгодным. Рассчитаны показатели надежности SAIFI, SAIDI и RNRE. Показана возможность применения элементов цифровых технологий на данных сетях.

Список источников

1. Папков Б. В., Илюшин П. В., Куликов А. Л. Надёжность и эффективность современного электроснабжения : монография. Нижний Новгород : НИЦ «XXI век», 2021. 160 с.

2. Вензелев Р. В., Баранова М. П. Интеллектуальные сети в электроснабжении сельскохозяйственных предприятий // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России : материалы II Международной научной конференции. Красноярск, 2022. С. 37–41.

3. Об утверждении Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации : Распоряжение Правительства РФ от 03.04.2013 № 511-р (ред. от 18.07.2015) // Собрание законодательства РФ.

4. Глыбина Ю. Н., Беликов Р. П., Фомин И. Н. Анализ видов и количества повреждений в электрических сетях класса напряжения 6–10 кВ // Агротехника и энергообеспечение. 2017. № 3(16). С. 43–49.

5. Баранов Р. А., Смирнов И. А., Баранова М. П. Применение динамического компенсатора искажений напряжения в сельских сетях // Научно-практические аспекты развития АПК : материалы Национ. науч. конф. Ч. 1. Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2020. С. 199–201.

6. Васильева Т. Н., Мишина Е. С. Выбор места установки реклоузера // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 172–179. URL: https://moluch.ru/archive/89/18297 (дата обращения: 03.05.2022).

7. Смирнов И. В., Баранов Р. А., Баранова М. П. Проблемы внедрения цифровых подстанций в малую распределенную энергетику // Научно-практические аспекты развития АПК : материалы Национ. науч. конф. Ч. 1. Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2020. С. 212–214.

8. Improving the reliability of power supply to electric networks / M. Baranova, K. Ibragimova, G. Xolboev // AIP Conference Proceedings. 1. Сер. "1st International Conference on Problems and Perspectives of Modern Science, ICPPMS 2021. 2022. P. 030022.

УДК 621.3.01:621.398

ТЕХНОЦЕНОЗ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

А. С. Берсенев[1], А. Ю. Южанников[2], К. В. Радичевич[3]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[3]Klima Centar Aspera, Лозница, Сербия
[1]x777xx24@bk.ru

Введение

На сегодняшний день современная промышленность стремительно эволюционирует, и автоматизация играет ключевую роль в повышении эффективности и конкурентоспособности предприятий. При этом в последнее время мы всё чаще слышим понятие «техноценоз», которое расширяет возможности автоматизации. В этой статье мы рассмотрим концепцию техноценоза и роль, которую он играет в автоматизированных информационно-измерительных системах контроля качества электроэнергии и его влиянии на эффективное преобразование электрической энергии. Данная тема представляет большой интерес в контексте устойчивого развития и энергоэффективности в системах энергоснабжения промышленных предприятий.

I. Техноценоз

Техноценоз – это концепция, объединяющая технологии и экосистему в единое целое, в котором технологии играют ключевую роль в управлении энергоснабжением. В рамках автоматизированных информационно-измерительных систем (АИИС) контроля качества электроэнергии, техноценоз применяется для оптимизации процессов управления и контроля качества электроэнергией с целью повышения ее эффективности и снижения потерь.

II. Преимущества использования техноценоза для автоматизации

1. Интеграция данных. Техноценоз позволяет собирать и обрабатывать данные из различных источников, таких как датчики, машины, системы управления и облачные платформы. Это создает единую информаци-

© Берсенев А. С., Южанников А. Ю., Радичевич К. В., 2024

онную платформу, которая обеспечивает лучшую видимость и контроль над производственными процессами.

2. Улучшенный анализ и прогнозирование. Использование техноценоза позволяет проводить более точный анализ данных и прогнозировать будущие события и тренды. Это помогает оптимизировать производственные процессы, улучшить планирование, предотвратить возможные сбои и простои.

3. Автоматизированное принятие решений. Техноценоз способствует автоматизированному принятию решений на основе анализа данных и определенных правил. Это позволяет устранить ошибки, связанные с человеческим фактором, и ускорить процессы принятия решений.

4. Гибкость и адаптивность. Использование техноценоза позволяет создавать гибкие и адаптивные системы, способные быстро реагировать на изменения в производственных условиях. Это особенно важно в современной динамичной бизнес-среде.

III. Контроль качества электроэнергии

АИИС контроля качества электроэнергии – это системы, предназначенные для непрерывного мониторинга и анализа параметров электроэнергии, таких как напряжение, ток, частота, гармоники и т. д. Они играют важную роль в обеспечении надежности и стабильности электроснабжения.

Технологии внедрения техноценоза в АИИС контроля качества электроэнергии включают в себя:

1. Сенсоры и измерительное оборудование. Современные сенсоры и измерительное оборудование, подключенные к АИИС, обеспечивают точный и непрерывный мониторинг параметров электроэнергии. Они позволяют выявлять аномалии в электросети и быстро реагировать на них.

2. Системы передачи данных. Использование сетей передачи данных, таких как Интернет, позволяет собирать информацию с различных точек сети и передавать ее в центральную систему мониторинга. Это обеспечивает оперативность и доступность данных.

3. Аналитика и искусственный интеллект. Технологии аналитики и искусственного интеллекта используются для анализа собранных данных. Они могут выявлять тренды, прогнозировать потребление энергии и даже предсказывать возможные сбои в сети.

4. Управление и автоматизация. АИИС позволяют автоматически реагировать на изменения в качестве электроэнергии. Например, системы управления нагрузкой могут отключать или включать устройства в зависимости от текущей ситуации в сети.

IV. Эффективное преобразование электроэнергии

Преобразование электрической энергии – ключевой этап в процессе ее использования. Техноценоз в АИИС контроля качества электроэнергии помогает оптимизировать этот процесс.

1. Оптимизация нагрузки. На основе данных, собранных АИИС, можно оптимизировать нагрузку с помощью технологии управления нагрузкой, мониторинга и обратной связи, что позволяет использовать энергию более эффективно, то есть уменьшить потери до минимума и снизить нагрузку в пиковые часы.

2. Управление реактивной мощностью. Системы контроля качества электроэнергии могут помогать управлять реактивной мощностью, что улучшает эффективность работы оборудования и снижает потери энергии.

3. Прогнозирование и оптимизация. Использование данных и аналитики позволяет прогнозировать спрос на электроэнергию и оптимизировать производственные процессы с учетом пиковой нагрузки.

4. Использование возобновляемых источников. Техноценоз способствует интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в сеть, что снижает зависимость от источников энергии, использующих ископаемые топлива, следующими способами:

4.1. *Управление и мониторинг.* Техноценоз обеспечивает возможность непрерывного мониторинга и управления ВИЭ. С использованием современных информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), можно следить за производством энергии из ВИЭ, прогнозировать погодные условия и регулировать работу ВИЭ-установок, чтобы максимально использовать произведенную энергию.

4.2. *Интеграция с умными сетями (SmartGrids)*. Техноценоз улучшает интеграцию ВИЭ с умными сетями. Умные сети позволяют автоматически управлять распределением и передачей энергии, что особенно важно при переменной генерации ВИЭ, такой как солнечная и ветряная энергия.

4.3. *Хранение энергии.* Техноценоз способствует разработке и внедрению технологий хранения энергии, которые могут уровнять неравномерность производства ВИЭ. Системы хранения, такие как батареи и аккумуляторы, позволяют сохранять избыточную энергию, чтобы использовать ее во времена недостатка.

4.4. *Цифровые решения для прогнозирования.* Техноценоз включает в себя алгоритмы машинного обучения и анализа данных, которые могут предсказывать производство ВИЭ на основе множества факторов, включая погодные условия, времени суток и местоположения. Эти прогнозы позволяют более эффективно управлять производством и распределением энергии.

4.5. *Интеграция в инфраструктуру городов и регионов.* Техноценоз может быть использован для интеграции ВИЭ в городскую и региональную инфраструктуру, включая здания, транспорт и сети связи. Например, здания могут быть оснащены солнечными панелями, а транспортные средства могут использовать электроэнергию из возобновляемых источников.

4.6. *Поддержка регулирования и стимулы*. Техноценоз может помочь в разработке эффективных регулирующих механизмов и стимулов

для поощрения инвестиций в ВИЭ и поддержания устойчивого роста этой отрасли.

4.7. *Интеграция с местными сообществами.* Техноценоз может способствовать вовлечению местных сообществ в производство и потребление ВИЭ (например, через схемы участия в проектах с возобновляемыми источниками).

4.8. *Разработка новых бизнес-моделей.* Техноценоз может поддерживать разработку инновационных бизнес-моделей, связанных с ВИЭ, таких как совместное использование ресурсов и торговля энергией между потребителями.

V. Участие техноценоза в АИИС контроля качества электроэнергии

Использование техноценоза в автоматизированные информационно-измерительные системы контроля качества электроэнергии является ключевым шагом в направлении эффективного использования электроэнергии.

Всё это может привести к разнообразным результатам и преимуществам, таким как:

1) увеличение эффективности и производительности;
2) улучшенное управление данными;
3) усиление безопасности;
4) улучшенная автоматизация и управление ресурсами;
5) повышение адаптивности и гибкости;
6) интеграция с новыми технологиями, усиление функциональности и возможностей АИИС;
7) снижение издержек и оптимизация ресурсов;
8) повышение уровня обслуживания;
9) устойчивость и отказоустойчивость.

Все эти системы обеспечивают надежный мониторинг, анализ и управление электроэнергией, что является краеугольным камнем для устойчивого и экономичного энергоснабжения.

Список источников

1. Южанников А. Ю. Золотое сечение и техноценозы в системах электроснабжения : монография. Красноярск : Поликор, 2009. С. 40–61.

2. Сизганова Е. Ю., Чупак Т. М., Южанников А. Ю. Техноценозы в электротехнических системах и комплексах : монография. Красноярск : СФУ, 2012. 270 с.

3. Гнатюк В. И. Закон оптимального построения техноценозов : монография. М.: ТГУ; Центр системных исследований, 2005. 384 с.

4. Кудрин Б. И. Введение в технетику. 2-е изд., переработ. и доп.— Томск: Изд-во Томск.гос. ун-та, 1993. 552 с.

5. Кузьмин Б. И. Принцип золотой симметрии непрерывных случайных величин // Электросвязь. 1996. № 12. С. 32.

6. Антоненков Д. В., Сизганова Е. Ю., Южанников А. Ю. Энергоснабжение образовательных учреждений: на примере нерюнгринского района Республики Саха (Якутия) : монография. Красноярск : СФУ, 2015. 156 с.

7. Сизганова Е. Ю., Степанов А. Г., Южанников А. Ю. Методы оценки технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов. Красноярск : СФУ, 2018. 165 с.

8. Северин А. Е. Ранговый анализ в прогнозировании электропотребления // Автоматизация технологических процессов. 2002. С. 118–122.

9. Гельман Г. А. Автоматизированные системы управления электроснабжением промышленных предприятий. М. : Энергоатомиздат, 1984. 256 с.

10. Гуртовцев А. В. Комплексная автоматизация энергоучета на промышленных предприятиях и хозяйственных объектах // Журнал «СТА». 2007. № 3. С. 44–45.

УДК 621.311

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ. ОЖИДАНИЯ И РЕАЛЬНОСТЬ

Ю. И. Богомолова[1], В. М. Левин[2]

[1, 2]Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия
[1]bogomolk007@gmail.com

Трансформаторы электростанций и электрических сетей представляют собой наиболее ответственное, сложное и дорогостоящее оборудование, надежную работу которого обеспечивает система технического обслуживания и ремонта (ТОиР) на основе многокомпонентного диагностического контроля и оценки состояния. На всех этапах жизненного цикла трансформаторов разных типов и классов напряжения регламентировано применение более 25 нормативных методов измерений и испытаний [1].

Многокомпонентное диагностирование трансформатора обеспечивает наиболее полное и точное решение задачи оценки его технического состояния. Однако в силу большого количества необходимых контролируемых параметров и задействованных технических средств оно имеет высокую трудоемкость и стоимость. Кроме того, время, затрачиваемое на многокомпонентное диагностирование трансформатора, весьма значительно в силу разброса нормативных периодичностей отдельных методов контроля. В связи с этим объективно обосновано стремление ряда отечественных и зарубежных исследователей к сокращению размерности исходного пространства диагностических признаков трансформатора без потери достоверности его интегральной оценки.

Одним из направлений исследований является рассмотрение целлюлозной изоляции в качестве наиболее слабого звена маслонаполненного трансформатора, определяющего его эксплуатационную надежность и ограничивающего ресурс работоспособности [2]. Предложенная модель учитывает динамику изменения сработанного ресурса целлюлозной изоляции трансформатора в зависимости от ряда влияющих факторов. К недостаткам модели следует отнести, например, значительную долю экспертных оценок при определении расчетных коэффициентов и констант.

© Богомолова Ю. И., Левин В. М., 2024

Другой подход к интегральной оценке маслонаполненного трансформатора [3] основан на применении универсальной модели технического ресурса:

$$R = R_0 \cdot \exp\left[\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{z_i - z_{i0}}{\Delta z_i}\right)\right].$$

Указанная модель учитывает одновременное воздействие на трансформатор n факторов $z_i(i = \overline{1,n})$ при независимом изменении каждого из них на величину приращения $\pm\Delta z_i = z_i - z_{i0}$. Здесь R_0 – нормативный технический ресурс трансформатора при нормальных значениях воздействующих факторов z_{i0}. Область применения модели ограничена принятыми допущениями, среди которых независимость влияния на ресурс оборудования значимых эксплуатационных факторов. На практике такое допущение оказывается приемлемым лишь в некоторых частных случаях.

Еще один подход к получению интегральной оценки технического состояния маслонаполненного трансформатора ограничивает пространство контролируемых параметров только результатами анализа растворенных газов (АРГ) в масле [4]. Модель и критерий классификации формируются статистически с применением байесовских преобразований на основе отношения правдоподобия. Это обеспечивает высокую достоверность в рамках экспресс-оценки состояния элементов активной части трансформатора, но исключительно по соотношениям концентраций диагностических газов в масле, что также является фактором, сужающим область практического применения указанной модели.

Период с начала 2000-х гг. по настоящее время отмечен публикациями [5–10], представляющими методики интегральной оценки состояния маслонаполненного трансформатора под названиями «индекс здоровья», «индекс работоспособности» (health index), «индекс технического состояния» (ИТС). Указанные методики, кроме индивидуальных особенностей, имеют принципиальное сходство. Они определяют состав контролируемых параметров состояния и структуру интегральной оценки трансформатора, методы количественного определения индексов такой оценки, а главное, устанавливают смыслы и область практического применения индексов. Так, в [5] представлена базовая методика, обязательная для исполнениявсеми субъектами энергетики РФ, которая распространяется на оборудование классов напряжения 35 кВ и выше. В соответствии с методикой расчет ИТС единичного трансформатора выполняется по выражению:

$$\text{ИТС} = \sum_i\left(\text{КВУ}_j \cdot \text{ИТСУ}_j\right), \qquad (1)$$

где КВУ_j, ИТСУ_j – значения весового коэффициента и индекса технического состояния j-го функционального узла ($j = \overline{1,m}$).

Функциональные узлы (магнитопровод, обмотки, изоляционная система, высоковольтные вводы, вспомогательное оборудование и РПН) также имеют свои индексы:

$$\text{ИТСУ} = 100 \times \frac{\sum_i (\text{КВ}_i \cdot \text{ОГП}_i)}{4} \quad (2)$$

здесь КВ_i – значение весового коэффициента для *i*-й группы контролируемых параметров технического состояния трансформатора; ОГП_i – балльная оценка *i*-й группы параметров технического состояния, характеризующая отклонение текущего значения параметра от предельной нормы и принимающая значения от 4 (наилучшее) до 1 (наихудшее) по мере увеличения опасности отклонения.

Весовые коэффициенты КВ_i, КВУ_j характеризуют важность соответствующих групп параметров состояния либо функциональных узлов трансформатора с точки зрения его надежности, определяются путем экспертных оценок как число от 0 до 1 и подчиняются следующим соотношениям $\sum_i \text{КВ}_i = 1$, $\sum_j \text{КВУ}_j = 1$. Количественное значение ИТС единичного трансформатора будет находиться в диапазоне от 0 (аварийное) до 100 % (идеальное), соответствовать одному из пяти диапазонов технического состояния от нормального до критического. Каждому из состояний ставится в соответствие оптимальный вид, состав и стоимость адекватного воздействия по ТОиР оборудования. В работе [6] предложен алгоритм расчета ИТС трансформатора экспертной системой «Диагностика+». Методика расчета ИТС, кроме весовых коэффициентов и оценок критериев, учитывает их «состоятельность», которая отражает отсутствие данных по критерию либо их некорректность из-за устаревания. ИТС трансформатора либо его функционального узла определяется по однотипным выражениям:

$$I_{\text{ФУ}} = \frac{\sum_i (\beta_i \cdot S_i \cdot Z_i)}{\sum_i (\beta_i \cdot S_i)}, \quad I_{\text{ТР}} = \frac{\sum_i \left(\beta_j \cdot S_j \cdot I_{\text{ФУ}j}\right)}{\sum_i \left(\beta_j \cdot S_j\right)}$$

где β_i, β_j – вес *i*-го критерия, *j*-го функционального узла; S_i, S_j – состоятельность *i*-го критерия, *j*-го функционального узла; Z_i – оценка *i*-го критерия; $I_{\text{ФУ}j}$, $I_{\text{ТР}}$ – ИТС *j*-го функционального узла и единичного трансформатора. В качестве функциональных узлов методика учитывает органическое масло, магнитопровод, обмотки с их изоляцией, а также РПН. Высоковольтные вводы в расчете $I_{\text{ТР}}$ не участвуют, так как учитываются методикой как отдельный класс оборудования. Для систем охлаждения и вспомогательного оборудования $I_{\text{ФУ}}$ не рассчитывается. Это ограничивает многокомпонентность методики и снижает ее состоятельность на фоне значительной размерности используемых измерений. Так, в рассмотренном примере для оценки ИТС трансформатора 220 кВ требуется использовать

209 измерений параметров. Методика также предназначена для ранжирования трансформаторов с целью определения оптимальной очередности воздействий в рамках ТОиР. Особое значение имеет работа [7], в которой впервые приводится ретроспектива отечественных методик расчета ИТС оборудования и дается критический анализ ряда зарубежных подходов. Методика реализована в экспертно-диагностической и информационной системе (ЭДИС) «Альбатрос». В ней применена принципиально иная концепция оценки, позволяющая определять вид и тяжесть развития обнаруженного в трансформаторе дефекта. Для расчета ИТС по результатам каждого *i*-го вида измерения используется выражение:

$$I_i = \sqrt{{x_i}^2 + {y_i}^2 + {z_i}^2},$$

в котором x_i – оценка тяжести и опасности дефекта *i*-го измерения; y_i – оценка скорости развития дефекта *i*-го измерения; z_i – оценка истории эксплуатации и продолжительности наблюдения за развитием дефекта *i*-го измерения.ИТС трансформатора определяется как средневзвешенное значение всех ИТС, рассчитанных по видам измерений:

$$I_{\mathrm{T}} = \frac{\sqrt{\sum_i \left(\mathrm{K}_i \cdot {I_i}^2\right)}}{\sqrt{\sum_i \left(\mathrm{K}_i \cdot {M_{i\,\max}}^2\right)}},$$

где K_i – коэффициент важности *i*-го диагностического измерения; $M_{i\max}$ – максимальное значение коэффициентов *i*-го измерения, используемое при нормировке результата.

В методике большему значению ИТС соответствует худшее техническое состояние трансформатора, что позволяет также оценить показатели риска его повреждения.

Исчерпывающую информацию о зарубежных методиках и моделях расчета индексов здоровья трансформаторов дает публикация [8]. Большинство методик реализуют близкие концептуальные подходы к интегральной оценке трансформатора и созданы на базе стандартов IEEE C57.104-2019 иIEC 60.422-2013 с использованием информационно-аналитических систем поддержки принятия решений. Ряд несущественных отличий между зарубежными подходами по количеству учитываемых факторов, методами змерений, критериям оценки состояния и методам агрегирования определяют их многообразие применительно к решению задач ранжирования единиц оборудования и выявления важности и очередности ТОиР. В [9] приводятся выражения, отражающие обобщенную модель расчета индекса здоровья трансформатора независимо от количества учитываемых факторов:

$$HI_{each\ factor} = \frac{\sum_{i=1}^{n} S_i W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i}, \quad HI_{final} = \frac{\sum_{j=1}^{n} SF_j W_j}{\sum_{j=1}^{n} 4W_j}$$

здесь SF_j, W_j – балльные оценки и весовые коэффициенты индекса здоровья.

Одним из недостатков существующих методик интегральной оценки состояния трансформаторов является ограничение в применении по классам номинального напряжения 35 кВ и выше. Это означает отсутствие возможности расчетов ИТС для оборудования объектов распределительных сетей 6 (10) кВ, которое сегодня приобретает критическую важность в связи с задачами обеспечения их надежного функционирования.

Авторами предложена методика интегральной оценки технического состояния объектов распределительной электрической сети: трансформаторных подстанций (КТП) с трансформаторами 6(10) кВ, воздушных и кабельных линий [10]. Разработанная методика не противоречит базовым принципам [5], а расчет ИТС объекта, например КТП, выполняется по выражениям (1) и (2). Однако в качестве критериев состояния фигурируют дефекты, выявленные в результате диагностирования и неразрушающего контроля, в качестве функциональных узлов – элементы конструкции (площадка КТП, РУ ВН, трансформатор, РУ НН, заземляющее устройство). Это придает методике объектную направленность, в отличие от агрегатной, характерной для базового подхода. Весовые коэффициенты рассчитываются с применением метода анализа иерархий и учитывают важность каждого из критериев с точки зрения надежности оцениваемого объекта. Методика протестирована и нашла практическое применение в системе управления ТОиР электрооборудования нефтепромыслов по техническому состоянию. Кроме расчетов ИТС, она включает оценку остаточного эксплуатационного ресурса объекта, который определяется по следующему алгоритму:

1) вводятся значения ИТС объекта на начальный ($T_{\text{р}(i-1)}$) и текущий ($T_{\text{р}i}$) моменты эксплуатации;

2) рассчитывается текущее значение ресурса i-го объекта (R_i):

$$R_i = R_{i-1} \cdot exp[-(\text{ИТС}_{i-1} - \text{ИТС}_i)/100];$$

3) рассчитывается значение остаточного эксплуатационного ресурса объекта:

$$R_{\text{ост}\,i} = R_i - R_{\text{пр}},$$

где $R_{\text{пр}}$ – предельно допустимое значение остаточного эксплуатационного ресурса объекта (устанавливается в результате специального анализа).

Интегральная оценка технического состояния трансформатора привлекает возможностью получения обобщенной характеристики состояния, что упрощает ее описание и количественную оценку. Выигрыш в простоте неизбежно оборачивается потерей точности, в особенности для объектов с многоаспектной оценкой, коими являются высоковольтные маслонаполненные трансформаторы.

Многообразие подходов к расчетам индексов здоровья (ИТС) трансформатора не гарантируют многообразия задач их практического применения, а ограничиваются ранжированием с целью определения оптимальной очередности ТОиР по фактическому техническому состоянию. Ограничение области применения методик расчета ИТС трансформаторов связано с классом их номинального напряжения 35 кВ и выше. Авторами разработаны методика и модели для расчета ИТС КТП с трансформаторами 6 (10) кВ, пригодная к применению в системах управления ТОиР по техническому состоянию.

Список источников

1. СТО 34.01-23.1-001-2017 Объем и нормы испытаний электрооборудования. Стандарт организации ПАО «Россети». М.: ПАО «Россети», 2017. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293734154.pdf.

2. Васин В. П., Долин А. П. Оценка выработанного ресурса изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов // Электро. 2009. № 2. С. 37–41.

3. Назарычев А. Н. Совершенствование системы ремонтов электрооборудования электростанций и подстанций с учетом технического состояния : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Иваново : ОМТ МИБИФ, 2005. 39 с.

4. Левин В. М. Идентификатор состояний маслонаполненного трансформаторного оборудования на основе анализа растворенных газов // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Сер. Техн. науки. 2014. № 5. С. 22–26.

5. Методика оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей : утв. Приказом Минэнерго России от 26.07.2017 № 676. URL: https://tk-expert.ru/uploads/files/ntd/ntd-679-20200531-233201.pdf.

6. Попов Г. В., Игнатьев Е. Б. Определение индекса технического состояния силовых трансформаторов в процессе их эксплуатации // Вестник ИГЭУ. 2014. № 4. С. 1–8.

7. Давиденко И. В. Индекс технического состояния: улучшение методики расчета на основе опыта работы ЭДИС «Альбатрос» // Силовые и распределительные трансформаторы. Реакторы. Системы диагностики : XXIII Междунар. науч.-техн. и практ. конференция. 21–22 июня 2016. URL: https://edis.guru/wp-content/uploads/2020/03/Travek_2016.pdf.

8. Ларин В. С. Отчет об участии в работе 45-й Генеральной сессии Международного Совета по Большим Электрическим Системам (СИГРЭ) и заседаниях Исследовательского Комитета А2 «Трансформаторы», Па-

риж, Франция, 25–29 августа 2014. URL http://www.cigre.ru/activity/session/session_2014/docs/A2_Report_45_Session_Larin_13.10.2014.pdf.

9. Tamma W. R., Prasojo R. A., Suwarno H. High voltage power transformer condition assessmentconsidering the health index value and its decreasing rate // High Voltage. 2021. № 6. P. 314–327.

10. Levin V. M., Guzhov N. P., Boyarova D. A. Innovative solutions for risks management of power supply disruptions to oil production consumers // International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences. 2022. P. 2070–2075. ISBN 978-1-6654-6480-2.

УДК 629.423.31

ТЯГОВЫЙ ПРИВОД ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

С. А. Внуков[1], Р. Н. Латышев[2], А. А. Штанг[3], Б. В. Малозёмов[4]

[1, 2, 3, 4]Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия
[1]abakan.1998@mail.ru

Тяговый привод является важнейшей подсистемой электромобиля [1]. Основные компоненты, входящие в состав тягового привода электромобиля:

1) батарея (является источником энергии для электромобиля и состоит из множества отдельных аккумуляторных модулей, обеспечивает хранение электрической энергии и питание двигателя);

2) электрический двигатель (преобразует электрическую энергию, поступающую от батареи, в механическую энергию), в электромобилях чаще всего используются асинхронные или постоянные магнитные двигатели;

3) инвертор (отвечает за преобразование постоянного тока батареи в переменный ток, который необходим для работы электрического двигателя; контролирует скорость и мощность двигателя);

4) разъёмы и шлейфы (служат для подключения и передачи электроэнергии между различными компонентами привода, такими как батарея, двигатель и инвертор);

5) управляющая электроника (различные датчики, контроллеры и компьютеры, которые отслеживают работу тягового привода и контролируют такие его параметры, как скорость, тяговое усилие и энергопотребление);

6) редуктор (используется для передачи механической энергии от электрического двигателя на колёса автомобиля, позволяет увеличить крутящий момент и снизить скорость вращения);

7) колёса и привод (колёса передают механическую энергию на дорожное покрытие, обеспечивая движение автомобиля; привод, в свою очередь, отвечает за передачу энергии с редуктора на колёса).

Кроме этих основных компонентов, тяговый привод электромобиля может также включать другие элементы, такие как системы охлаждения, системы рекуперативного торможения и системы управления энергией [2].

© Внуков С. А., Латышев Р. Н., Штанг А. А., Малозёмов Б. В., 2024

Структурное описание тягового привода электромобиля может быть представлено следующим образом:

1. Батарея:
– ёмкость батареи (C_b) → кВт·ч;
– текущий заряд батареи (Q_b) → %;
– напряжение батареи (V_b) → U, В.
2. Электрический двигатель:
– момент инерции двигателя (J) → кг·м^2;
– электромагнитный момент двигателя (M_e) → Н·м;
– электромагнитное напряжение двигателя (V_e) → U, В.
3. Инвертор:
– КПД инвертора (η_inv) → 0…1/%;
– напряжение на выходе инвертора (V_inv) → U, В;
– ток на выходе инвертора (I_inv) → А.
4. Разъёмы и шлейфы:
– потери напряжения на разъёмах и шлейфах (ΔV_conn) → ΔU, В.
5. Управляющая электроника:
– алгоритм управления;
– задание мощности двигателя (P_set) → кВт;
– отдача управляющей электроники (P_ctrl);
– задержки управления.
6. Редуктор:
– передаточное отношение (i_ratio) → ω_1/ω_2.
7. Колёса и привод:
– радиус колеса (r_wheel) → R, м;
– скорость вращения колёс (ω_wheel) → рад/с (с$^{-1}$);
– скорость движения автомобиля (v_car) → V, км/ч (м/с).
8. Система охлаждения:
– температура охлаждающей жидкости ($T\_coolant$) → °С;
– поток охлаждающей жидкости ($Q\_coolant$).
9. Система рекуперативного торможения:
– задание мощности рекуперации (P_rec) → кВт.
10. Система управления энергией:
– алгоритм управления энергией;
– заряд батареи (Q_b) → %;
– расход энергии ($E\_consumed$) → Дж;
– максимальный расход энергии (E_max) → Дж;
– состояние заряда батареи (SOC);
– количество доступной энергии ($E\_available$) → Дж.

Для расчёта накопителя энергии для электромобиля необходимо учесть его пробег, энергопотребление, а также энергию, которую он может получить при зарядке [3].

Важным параметром электромобиля является его пробег на одной зарядке (L). Обычно он составляет от 100 до 300 км в зависимости от модели и условий эксплуатации.

Энергопотребление электромобиля ($E_{потр}$) измеряется в киловатт-часах (кВт·ч) на 100 км пробега. Среднее энергопотребление электромобилей составляет примерно 1,5–2 кВт·ч/км.

Таким образом, для расчёта накопителя энергии для электромобиля можно использовать следующую формулу:

$$C = E_{\text{потр}} \cdot L, \tag{1}$$

где C – ёмкость накопителя энергии (кВт·ч), $E_{потр}$ – энергопотребление электромобиля (кВт·ч/км), L – пробег электромобиля (км).

Например, если энергопотребление электромобиля составляет 1,75 кВт·ч/км, а его пробег – 200 км, то расчёт накопителя энергии будет следующим:

$$C = 1{,}75 \cdot 200 = 350 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Таким образом, для данного электромобиля необходим накопитель энергии ёмкостью 350 кВт·ч.

Наиболее подходящим вариантом с точки зрения технико-экономических составляющих является аккумулятор «Tesla Powerpack» ёмкостью 210 кВт·ч, что примерно соответствует 567 А·ч. Он может использоваться для стационарных систем энергоснабжения [4, 5].

Для расчёта мощности двигателя для электромобиля необходимо вычислить значения удельного основного сопротивления движению (ω_0, Н/кН), а также тягового усилия (F_m, кГс).

Удельное основное сопротивление движению для электромобиля рассчитывается по формуле [6]

$$\omega_0 = 12 + 0{,}0018 \cdot V^2, \tag{2}$$

где V – средняя скорость электромобиля (км/ч).

При средней скорости электромобиля, равной 100 км/ч, получим:

$$\omega_0 = 12 + 0{,}0018 \cdot 100^2 = 30 \text{ Н/кН}.$$

Тяговое усилие электромобиля вычисляется по формуле

$$F = \frac{m \cdot \omega_0 + 102 \cdot a \cdot (m + \gamma)}{z}, \tag{3}$$

где m – масса электромобиля (т), a – среднее ускорение электромобиля (м/с^2), γ – коэффициент инерции вращающихся частей, z – количество двигателей.

Принимая, что масса электромобиля составляет 1,14 т, среднее ускорение электромобиля – 2 м/с^2, коэффициент инерции вращающихся частей – 0,15; количество двигателей – 1 шт.; получим:

$$F = \frac{1{,}14 \cdot 30 + 102 \cdot 2 \cdot (1{,}14 + 0{,}15)}{1} = 231{,}57 \text{ кГс.}$$

Опираясь на расчёты, приведённые выше, вычислим значение мощности двигателя по формуле

$$P = F \cdot V = 231{,}57 \cdot 100 = 23 \text{ кВт.} \#(4)$$

Удовлетворить требуемым параметрам мощности [7] может электродвигатель серии «LEM-200» модели «D127» (25 кВт). Данный двигатель имеет высокий КПД (93 %), простую в управлении систему, а также длительный срок службы.

Трёхфазный инвертор – это устройство, которое преобразует постоянный ток батареи электромобиля в переменный ток трёхфазной сети, который требуется для питания электромотора. Основная задача инвертора – контролировать скорость, направление и мощность движения электромобиля [8].

Трёхфазный инвертор обычно состоит из трёхфазных модулей, каждый из которых отвечает за управление одной фазой системы. Каждый модуль включает в себя ключевые компоненты, такие как транзисторы повышенной мощности (IGBT), драйверы для управления транзисторами и датчики для обратной связи и контроля работы системы.

Основные преимущества трёхфазного инвертора:

– высокая эффективность преобразования энергии;

– повышенная надёжность и долговечность компонентов;

– лучшая динамика движения и управляемость транспортного средства;

– возможность рекуперации энергии при торможении и её возвращения обратно в батарею.

Таким образом, трёхфазный инвертор играет важную роль в преобразовании энергии в электромобиле и обеспечивает его нормальную работу.

Имитационная математическая модель трёхфазного инвертора (рис. 1) была построена в программном комплексе Matlab Simulink.

В результате моделирования на осциллографе были получены переходные процессы, протекающие в трёхфазном инверторе (рис. 2). Значение амплитудного напряжения достигает 300 В (U_{max}).

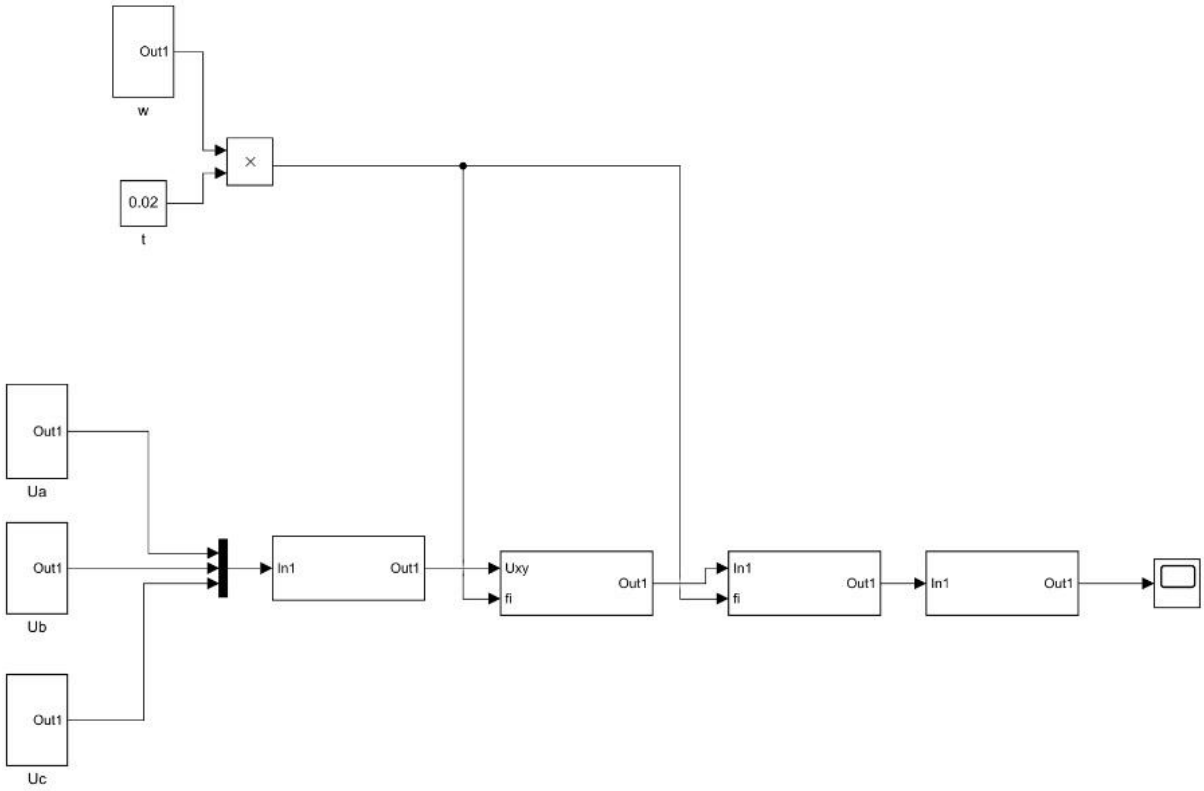


Рис. 1. Модель трёхфазного инвертора

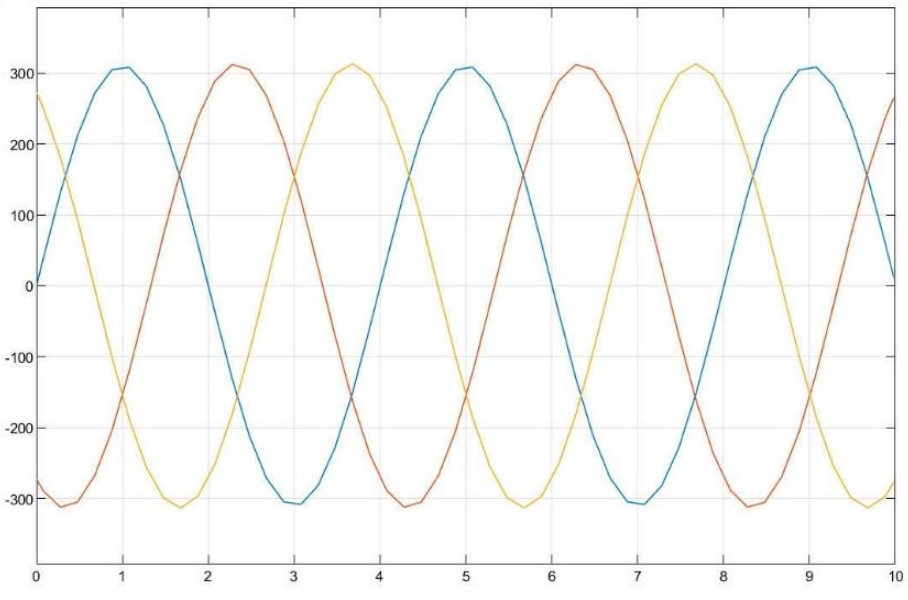


Рис. 2. Диаграмма трёхфазного напряжения

Выводы

1. Проведён обзор и анализ основных компонентов тягового привода электромобиля.

2. Выполнен расчёт накопителя энергии (350 кВт·ч). Выбрана модель аккумулятора Testa Powerpack ёмкостью 210 кВт·ч (567 А·ч).

3. Выполнен расчёт мощности двигателя (23 кВт). Выбран электродвигатель серии «LEM-200» модели «D127» (25 кВт).

4. Построена модель трёхфазного инвертора в программном комплексе Matlab Simulink с амплитудным значением напряжения 300 В.

Список источников

1. Штанг А. А., Бирюков В. В. Повышение эффективности электротранспортных систем с использованием накопителей энергии = Improving the efficiency of electric transport systems using energy storage units : монография. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2022. 259 с.

2. Бирюков В. В. Энергетические аспекты функционирования транспортных систем = Power aspects of transport system operation : монография. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2014. 264 с.

3. Евдокимов С. А., Щуров Н. И. Структурный синтез многофазных вентильных преобразователей = Structural synthesis of multiphase valve transducers : монография. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010. 423 с.

4. Polnik B., Kaczmarczyk K., Niedworok A., Baltes R., Clausen E. Energy recuperation as one of the factors improving the energy efficiency of mining battery locomotives // Management Systems in Production Engineering. 2020. № 4 (28). С. 253–258. DOI: 10.2478/mspe-2020-0036.

5. Paraszczak J., Svedlund E., Fytas K., Laflamme M. Electrification of Loaders and Trucks – A Step Towards More Sustainable Underground Mining // Renewable Energy and Power Quality Journal. 2014. Vol. 12. P. 81–86. DOI: 10.24084/repqj12.240.

6. Martyushev N. V., Malozyomov B. V., Sorokova S. N., Efremenkov E. A., Qi M. Mathematical Modeling of the State of the Battery of Cargo Electric Vehicles // Mathematics. 2023. Vol. 11. P. 536. https://doi.org/10.3390/math11030536.

7. Khalikov I. H., Kukartsev V. A., Kukartsev V. V., Tynchenko V. S., Tynchenko Y. A., Qi M. Review of Methods for Improving the Energy Efficiency of Electrified Ground Transport by Optimizing Battery Consumption // Energies. 2023. Vol. 16. P. 729. DOI: 10.3390/en16020729.

8. Shchurov N. I., Dedov S. I., Malozyomov B. V., Shtang A. A., Klyuev R. V., Andriashin S. N. Degradation of Lithium-Ion Batteries in an Electric Transport Complex // Energies. 2021. Vol. 14. P. 8072. https://doi.org/10.3390/en14238072.

УДК 621

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА БЫСТРОЙ ЗАРЯДКИ АКБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Р. Т. Галемов[1], Г. Б. Масальский[2], М. Ю. Коцан[3]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[3]ООО «Электрикус», Красноярск, Россия
[2]gmasalsky@mail.ru

Приказ Минпромторга России от 29.04.2022 № 1776 «Об утверждении технических характеристик оборудования стационарной автомобильной зарядной станции публичного доступа, обеспечивающей возможность быстрой зарядки электрического автомобильного транспорта» устанавливает технологические требования данных энергетических объектов, а именно:

– присоединяемая мощность зарядной станции должна составлять не менее 149 кВт;

– минимальная конфигурация зарядной станции должна включать:

а) не менее трех коннекторов постоянного тока электрического автомобильного транспорта, где обязательными являются установленные характеристики разъемов GB/T и CCS2;

б) одновременную зарядку не менее двух единиц электрического автомобильного транспорта с динамической балансировкой выдаваемой мощности между коннекторами постоянного тока во всех режимах работы зарядной станции.

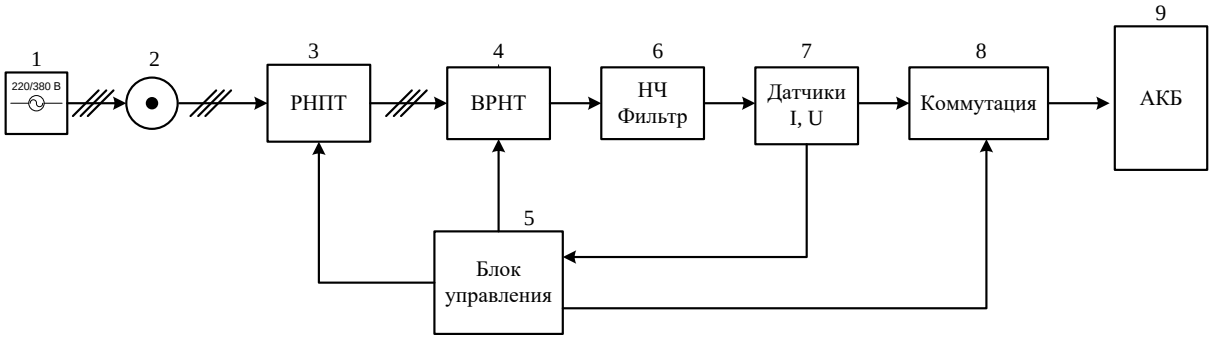
Применительно к определению правового статуса электромобиля и его зарядной инфраструктуры в действующем отечественном законодательстве принят ряд ГОСТов, определяющих те или иные характеристики данных энергетических объектов.

Для решения задач проектирования зарядного устройства необходимо разработать его цифровую модель, которая позволит провести исследования работы зарядного устройства в различных режимах и сопоставить их с режимами реального зарядного устройства.

Функциональная схема зарядной станции на постоянном токе компании ООО «Электрикус» приведена на рис. 1. Входное трехфазное напряжение переменного тока U = 220/380 В преобразуется регулируемым маг-

© Галемов Р. Т., Масальский Г. Б., Коцан М. Ю., 2024

нитным усилителем (РНПТ) и регулируемым нереверсивным трехфазным мостовым выпрямителем (ВРНТ), выполненном на базе тиристоров отечественного производства. Постоянный ток проходит через низкочастотный фильтр, который обеспечивает сглаживание высокочастотных гармоник и подается на заряд АКБ.



1. трехфазная электросеть; 2. блок коммутации; 3. РНПТ – регулятор напряжения переменного тока; 4.выпрямитель регулятор напряжения постоянного тока; 5. блок управления; 6. НЧ фильтр; 7. датчики тока и напряжения; 8. блок коммутации АКБ; АКБ электротранспорта.

Рис. 1. Функциональная схема блока зарядной станции на постоянном токе компании ООО «Электрикус»

Структурная схема зарядного устройства (ЗУ) и аккумуляторная батарея с системой контроля и управления (СКУ) представлены в виде последовательно соединенных подсистем (рис. 2).

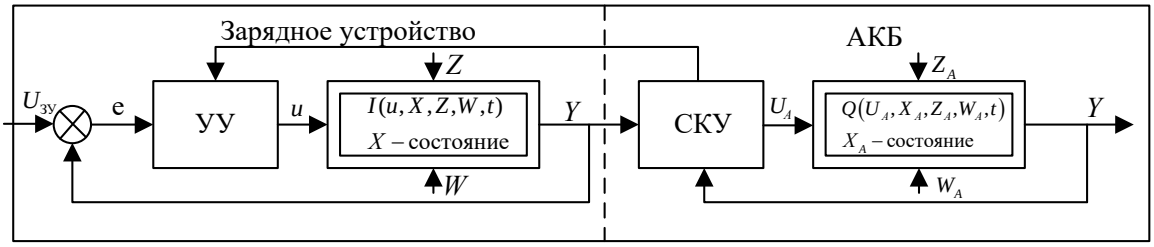


Рис. 2. Структурная схема ЗУ и АКБ

Блоки РНПТ, ВРНТ являются исполнительными устройствами в системе управления зарядной станции, они регулируют силу тока зарядки батареи. Требуемую силу тока зарядная станция получает от СКУ АКБ. Для поддержания требуемой силы тока используются независимые регуляторы в блоках РНПТ и ВРНТ. Необходимо, чтобы каждый из этих блоков был способен управлять током заряда в полном либо ограниченном диапазоне выходных значений. Для независимой настройки регуляторов в блоках РНПТ и ВРНТ были разработаны компьютерные модели этих блоков в связке с моделью батареи. Поскольку в системе управления присутствуют два регулятора одного выходного сигнала, то может возникнуть конфликт,

поэтому необходимо разработать логику переключения регуляторов, когда один из них будет активен, а второй в режиме ожидания.

Моделирование батареи

Перед моделированием исполнительных механизмов разработаем модель объекта управления. В качестве объекта моделирования используем высоковольтную аккумуляторную батарею электромобиля Nissan Leaf ZE0 24kW. Для моделирования батареи в среде MATLAB/Simulink использовался блок Battery из библиотеки Simcape.

Моделирование блока ВРНТ

Тиристорный преобразователь (ТП) основан на тиристоре VS-70TPS12PBF. Для моделирования тиристорного преобразователя в Simulink использовался блок Thyristor из пакета Simscape. Управление тиристорным выпрямителем осуществляется углом открытия α, в диапазоне [0, π]. Для корректной работы выпрямителя подадим на вход линейно возрастающее воздействие от 0 до π, и измерим отфильтрованный выходной ток. Результаты представлены на рис. 3. Поскольку система является стационарной, в качестве УУ был выбран ПИД-регулятор из-за простоты реализации в программе контроллера и за малое количество необходимых вычислений.

Моделирование блока РНПТ

Для моделирования магнитного усилителя в среде MATLAB/ Simulink был написан пользовательский блок, реализующий следующее поведение [1]:

$$F = I_{ac}\omega^{*} + I_{y}\omega_{\text{у}} \ , \qquad (1)$$

где F – магнитодвижущая сила, А; I_{ac}, I_y – ток в обмотке переменного тока и постоянный ток обмотки управления, А; ω^{*}, $\omega_{\text{у}}$ – число витков обмотки переменного тока (выходной) и обмотки управления (входной).

Управление магнитным усилителем (МУ) производится изменением управляющего тока на обмотке управления. Диапазон изменения тока управления согласно требованиям: при I_y = 0 А выход магнитного усилителя имеет минимальное значение; при I_y = 8 А выход магнитного усилителя имеет максимальное значение.

График зависимости сглаженного выходного тока от тока управления представлен на рис. 4.

Представленный график соответствует ожидаемому поведению магнитного усилителя. Как и блок ВРНТ, блок РНПТ должен отслеживать ток заряда батареи согласно кривой заряда. И в качестве устройства управления был выбран ПИД-регулятор.

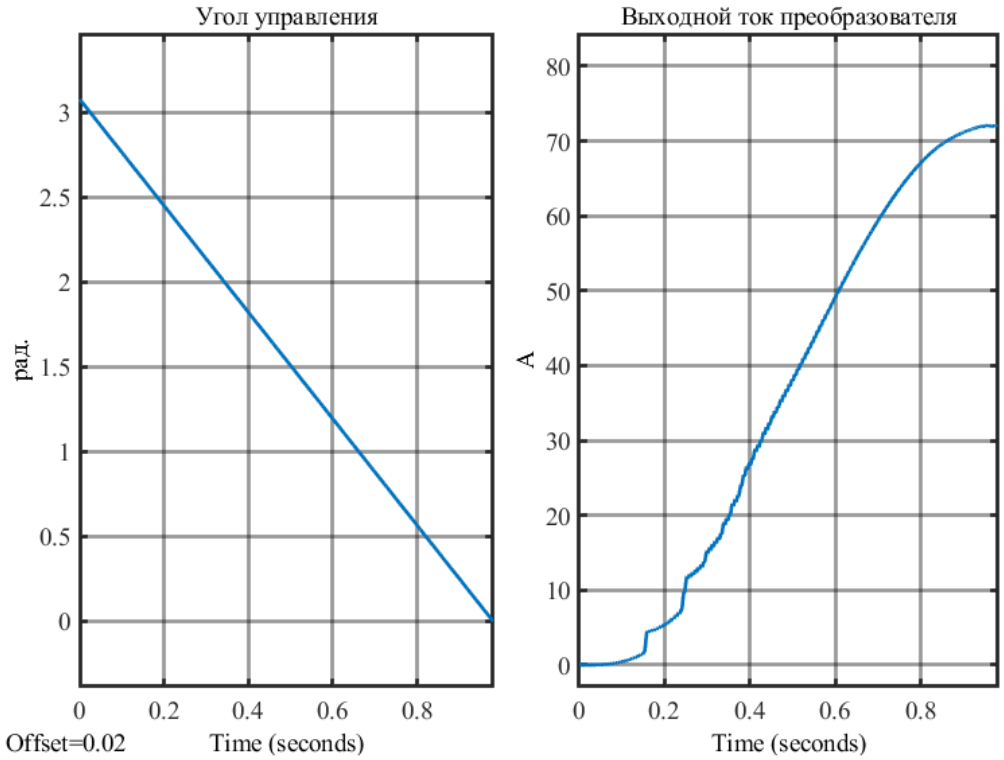


Рис. 3. Зависимость тока ВРНТ от угла управления

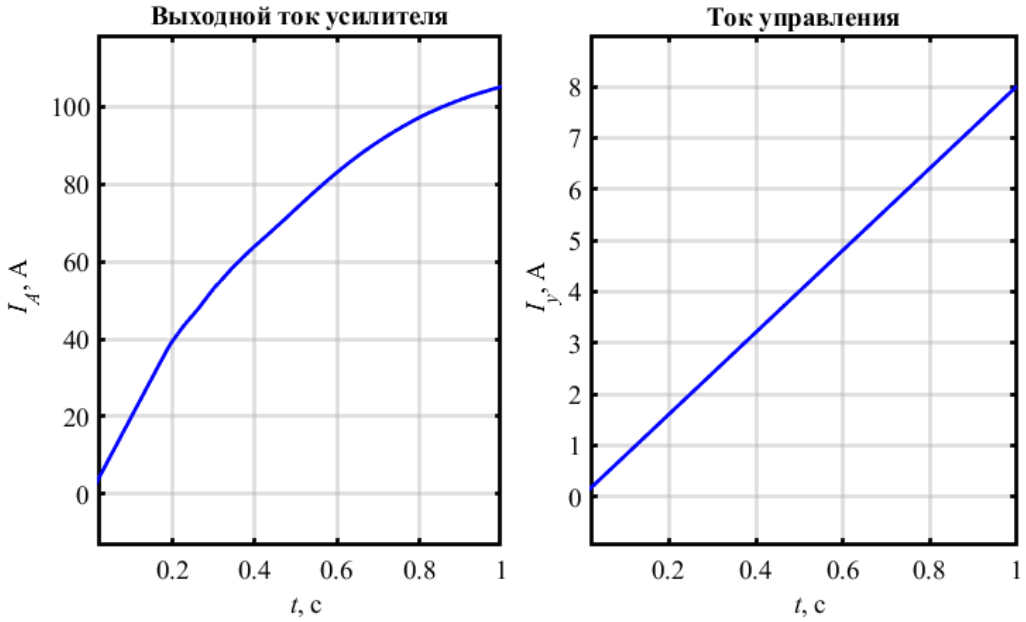


Рис. 4. Зависимость выходного тока РНПТ от тока управления

Моделирование зарядной станции в целом

Поскольку в системе имеются два последовательно подключенных регулятора, цель этого исследования заключается в настройке и тестировании логики одновременной работы двух контроллеров.

Эксперимент 1. Активное управление РНПТ при постоянном управляющем воздействии на ТП. Здесь регулятор магнитного усилителя произ-

водит управление по задающим воздействиям, при этом ТП работает как неуправляемый выпрямитель (табл. 1, 2)

Эксперимент 2. Активное управление ВРНТ при постоянном управляющем воздействии на МУ. Здесь регулятор ВРНТ производит управление по задающим воздействиям, при этом магнитный усилитель работает как дроссель. После настройки новые параметры регулятора ВРНТ имеют следующие значения (табл. 3, 4).

Таблица 1

Параметры регулятора РНПТ

Параметр	Значение
Пропорциональный к-т *P*	0
Интегральный к-т *I*	0,7
Дифференциальный к-т *D*	0
Ширина окна, мс	3,3

Таблица 2

Результаты работы полной модели под управлением РНПТ

Параметр	Траектория			
	1	2	4	5
Перерегулирование, %	–	1,44	–	16,05
Время регулирования, с	–	0,22	–	0,44
Установившаяся ошибка, А	–	0	–1	0,27

Параметр	Траектория	
	3	6
Средняя ошибка, А	2,11	1,70
Максимальная ошибка, А	13,74	11,86

Таблица 3

Параметры регулятора ВРНТ

Параметр	Значение
Пропорциональный к-т *P*	0,10
Интегральный к-т *I*	0,30
Дифференциальный к-т *D*	0,01
Постоянная времени фильтра *T*, с	0,10

Таблица 4

Результаты работы полной модели под управлением ВРНТ

Параметр	Траектория			
	1	2	4	5
Перерегулирование, %	0	3,75	13	3,74
Время регулирования, с	0,92	0,33	0,18	0,33
Установившаяся ошибка, А	0,01	0,01	0,01	0,01

Параметр	Траектория	
	3	6
Средняя ошибка, А	1,49	1,35
Максимальная ошибка, А	2,04	2,56

По результатам проведенного моделирования можно заключить, что система заряда батарей, включающая блоки ВРНТ и РНПТ, может управлять током заряда, используя один из этих блоков при переведении другого блока в полностью открытое состояние. На данном этапе моделирования не было найдено основания для одновременного управления блоками ВРНТ и РНПТ.

Список источников

1. Розенблат М. А. Магнитные усилители // Массовая радиобиблиотека. Вып. 230. М. : Госэнергоиздат, 1955. 138 с.

УДК 621.311

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

А. А. Горшунов

Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия
98sever@mail.ru

Оценка технического состояния электрооборудования является важной процедурой, обеспечивающей безопасную и эффективную работу системы электроснабжения любой компании. Она проводится для выявления потенциальных проблем или повреждений оборудования, которые могут привести к авариям или сбоям в работе системы. Кроме того, оценка позволяет выявить необходимость ремонта или замены оборудования, что повышает его надежность и продлевает срок службы [1].

Необходимо регулярно оценивать техническое состояние оборудования, проводить регулярное техническое обслуживание и ремонт, использовать высококачественное оборудование и комплектующие, применять системы мониторинга и диагностики. Оценка технического состояния электрооборудования является важным этапом обеспечения надежной работы и должна выполняться только квалифицированным персоналом. Эта операция выполняется персоналом, имеющим соответствующую квалификацию и опыт работы в данной области. Позволяет диагностировать возможные неисправности и проблемы в работе оборудования и предотвратить возможные аварии и повреждения. В процессе оценки персонал использует различные методы и инструменты, включая визуальный осмотр, измерение параметров, анализ данных и тестирование.

Надежность системы электроснабжения оценивается по основным показателям, расчеты которых основаны на многолетних наблюдениях за отказами и продолжительностью ремонтов электрооборудования. В результате таких расчетов оцениваемые величины не изменяются постоянно. Электрооборудование, функционирующее в составе системы электроснабжения, через несколько лет подвергается износу. Прогрессирующие дефекты развиваются в узлах и компонентах, поэтому оборудование функ-

© Горшунов А. А., 2024

ционирует нормально, но в этом случае фактические значения показателей надежности оказываются ниже. Первоначальные оценки надежности системы электроснабжения, сделанные на этапе проектирования, со временем становятся неточными и оптимистично завышенными. Численно значение надежности может быть выраженно вероятностью безотказной работы P [2].

Существенное снижение надежности является серьезной проблемой, имеющей значительные экономические последствия (например, остановка производства, производственные потери, увеличение затрат на ремонт и замену оборудования). Для снижения количества возможных отказов в системе необходимо регулярно оценивать техническое состояние оборудования, проводить регулярные работы по техническому обслуживанию и ремонту.

Каждая единица электрооборудования имеет функциональные узлы с разной степенью важности, выраженной в виде весовых коэффициентов. Весовые коэффициенты не являются общепринятыми величинами, а определяются путем проведения процедуры экспертизы. Техническое состояние каждого функционального узла определяется путем оценки дефектов, которые могут возникнуть или развиться в процессе эксплуатации оборудования [3].

Показатель $J_{\text{эл.об}}$ является индексом технического состояния (ИТС) и может принимать значения в диапазоне от 0 до 100 %, однако в ходе эксплуатации оборудования данный показатель никогда не достигает значения 100 %. Учет $J_{\text{эл.об}}$ оборудования позволяет определить актуальное значение вероятности безотказной работы P_J, которое будет отличаться от значения вероятности P, полученного в ходе расчетов схемной надежности системы электроснабжения. Математическая модель, представленная формулой (1), позволяет учесть текущее состояние электрооборудования при расчете надежности схемы [4].

$$P_J = P \times J_{\text{эл.об}} = e^{-\omega \times T} \times \left(\sum_{1}^{i} \text{КВ}_i \times \frac{J_{i.\text{уз}}}{100} \right), \qquad (1)$$

где ω – параметр потока отказов элемента, 1/год; P – вероятность безотказной работы, характеризующая схемную надежность; $J_{\text{эл.об}}$ – индекс технического состояния единицы электрооборудования; T – интервал времени, в течение которого рассматриваются события, год; i – количество функциональных узлов; КВ_i – весовой коэффициент i-го функционального узла; $J_{i.\text{уз}}$ – индекс технического состояния i-го функционального узла.

В качестве примера рассматривается оборудование объектов ПАО «Газпромнефть». После проведенной экспертизы на предприятии было выделено несколько функциональных узлов в электрооборудовании и каждому назначен весовой коэффициент, определяющий важность относи-

тельно других функциональных узлов. Сумма весовых коэффициентов функциональных узлов каждой единицы электрооборудования равна единице. Наименование оборудования, функциональных узлов и значения весовых коэффициентов приводятся в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Весовые коэффициенты функциональных узлов воздушной линии

Единица оборудования	Узел	Функциональный узел	Весовой коэффициент
Воздушная линия	1	Крепление опоры	0,1
	2	Приставка, стойка	0,03
	3	Траверса	0,07
	4	Заземляющее устройство	0,03
	5	Коммутационные аппараты, разрядники	0,1
	6	Трасса ВЛ	0,2
	7	Провод, кабельная вставка	0,47

Таблица 2

Весовые коэффициенты функциональных узлов трансформатора

Единица оборудования	Узел	Функциональный узел	Весовой коэффициент
Трансформатор	1	Изоляционная система	0,32
	2	Магнитная система	0,18
	3	Обмотки	0,18
	4	Высоковольтный ввод	0,13
	5	Устройство РПН	0,1
	6	Система охлаждения	0,09

Предполагается, что оценка отражает текущее техническое состояние функционального узла или степень прогрессирования дефектов в нем. Весовой коэффициент указывает на важность функционального блока в оборудовании и отражает долю его влияния на работу оборудования.

На сегодняшний день отсутствует: статистическая информация о численных значениях оценки состояния функциональных узлов электрооборудования; информация о качестве ремонтных работ оборудования и материалов, а также об особенностях эксплуатации в различных частях системы.

В связи с отсутствием статистических данных о возникновении и скорости появления дефектов в функциональных узлах электрооборудования предполагается, что возникновение и развитие дефектов носит случайный характер. Для оценки влияния ИТС на надежность схемы была

разработана и применена математическая модель (2). В данном случае оценка состояния функционального узла является случайной величиной, подчиняющейся равномерному закону распределения.

$$J_{\text{эл.об}} = \sum_{1}^{i} \left[\left(\frac{\sum_{1}^{n} RANDOM}{n} \right) \times \text{КВ}_i \right], \qquad (2)$$

где *RANDOM* – генератор псевдослучайных чисел для диапазона [0; 1]; n – количество испытаний.

Модель выдает оценку технического состояния блока электрооборудования. Для моделирования оценки состояния функциональных блоков был реализован генератор псевдослучайных чисел. Моделирование проводилось с использованием методов Монте-Карло (статистических испытаний) для получения статистической информации о состоянии блоков электрооборудования.

Моделирование проводилось одновременно для воздушных линий и трансформаторов с учетом технического состояния узлов электрооборудования. При одновременном моделировании нескольких единиц электрооборудования проводится нормирование для получения единой суммы весовых коэффициентов. Данная процедура необходима для согласования значения ИТС со значением вероятности P безотказной работы. Результат нормирования приводится в табл. 3.

Для учета двухцепных воздушных линий при моделировании необходимо весовые коэффициенты 12-го и 13-го функционального узла увеличить в два раза.

С помощью модели (2) производилось генерирование значений индекса технического состояния. Для получения выборочной совокупности и статистического ряда было выполнено 200 циклов. На основе статистического ряда производится построение гистограммы (рис. 1) для выдвижения гипотезы о распределении генерируемой случайной величины.

Выдвигается гипотеза H_0, состоящая в том, что случайная моделируемая величина X подчиняется нормальному закону распределения. Параллельно выдвигается вторая гипотеза H_1, состоящая в том, что величина X не подчиняется предполагаемому закону распределения. Строится теоретическая кривая и накладывается на гистограмму (рис. 2).

Критическое значение критерия Пирсона равно 14,1. Наблюдаемое значение равно 9,2. Данный результат позволяет принять основную гипотезу.

Для оценки текущего состояния электрооборудования была разработана двухкомпонентная взаимосвязанная математическая модель, которая

может учитывать как надежность системы электроснабжения, так и текущее техническое состояние функциональных узлов электрооборудования. Чем больше функциональных узлов и элементов контролируется, тем ниже ИТС электрооборудования.

Таблица 3

Весовые нормированные коэффициенты функциональных узлов электрооборудования

Единица оборудования	Узел	Функциональный узел	Весовой коэффициент
Трансформатор	1	Изоляционная система	0,16
	2	Магнитная система	0,09
	3	Обмотки	0,09
	4	Высоковольтный ввод	0,065
	5	Устройство РПН	0,05
	6	Система охлаждения	0,045
Воздушная линия	7	Крепление опоры	0,05
	8	Приставка, стойка	0,015
	9	Траверса	0,035
	10	Заземляющее устройство	0,015
	11	Коммутационные аппараты, разрядники	0,05
	12	Трасса ВЛ	0,1
	13	Провод, кабельная вставка	0,235

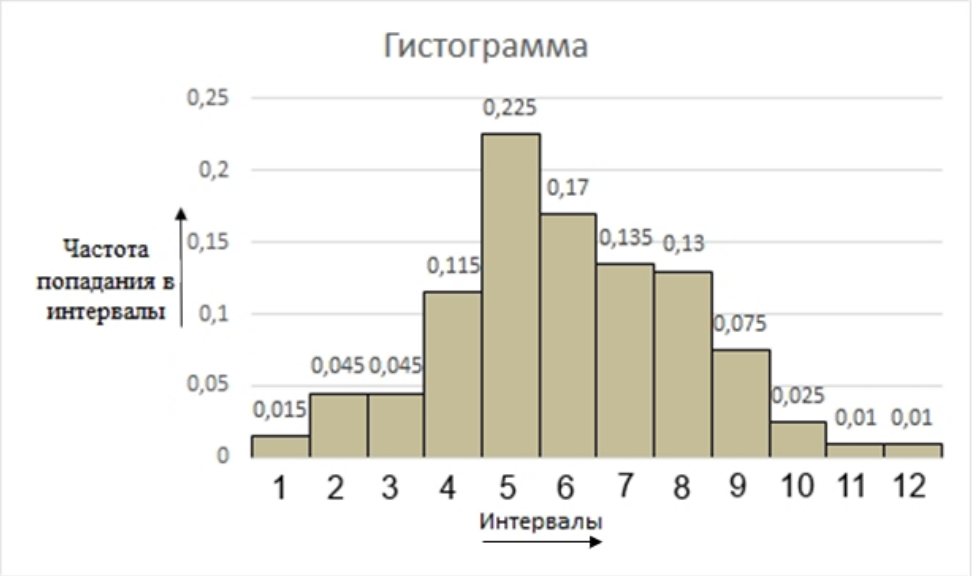


Рис. 1. Гистограмма для варианта с двухцепной линией с трансформаторами

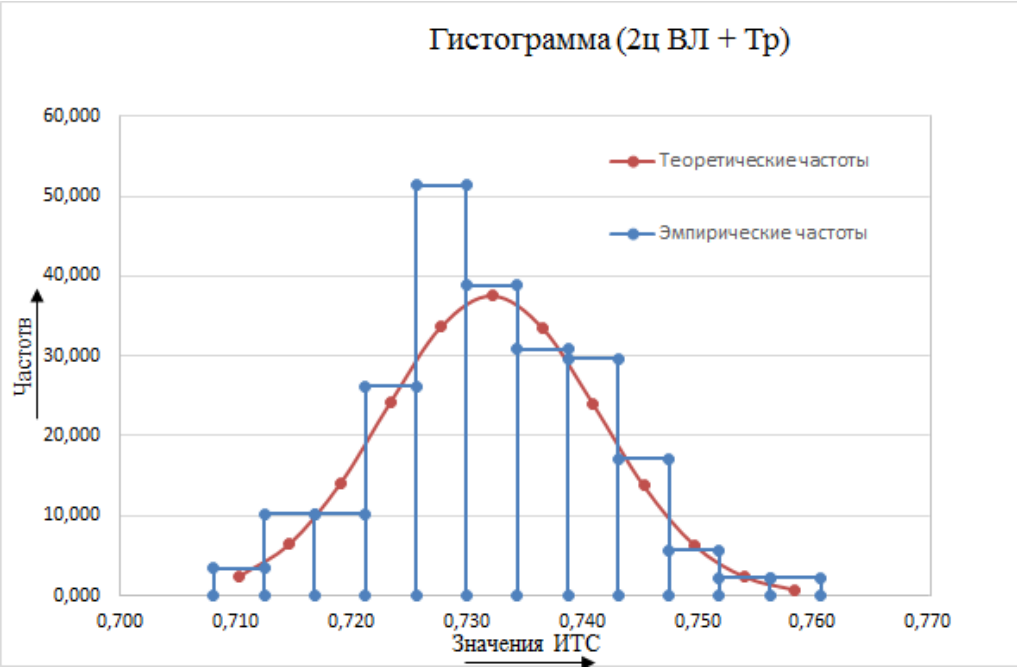


Рис. 2. Гистограммы теоретических и эмпирических частот

Результаты проверки с помощью критерия согласия Пирсона подтверждают предположение о нормальном распределении случайных величин ИТС при моделировании схемы электроснабжения. Центральная предельная теорема утверждает, что если распределение случайной величины, характеризующей состояние функционального блока, равномерно, то при имитации ИТС электрооборудования в модели распределение этой случайной величины становится нормальным.

Список источников

1. Секретарев Ю. А., Левин В. М. Выбор и принятия решений по управлению ремонтами энергооборудования в системах электроснабжения с монопотребителем // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2021. № 2 (83). С. 17–25.

2. Секретарев Ю. А., Горшунов А. А., Меняйкин Д. А. Моделирование технического состояния оборудования систем электроснабжения монопотребителей с учетом схемной надежности // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2022. Т. 18, № 3 (69). С. 3–14.

3. Байдюк М. А., Комарова Г. В. Оценка технического состояния и надежности электрических машин // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2019. № 3. С. 78–84.

4. Свидетельство № RU 2022618655. Расчет надежности системы электроснабжения нефтяного промысла в рамках риск-ориентированного подхода / Ю. А. Секретарев, А. А. Горшунов. Зарегистр. 13.05.2022. 1 с.

УДК 621.311

УПРАВЛЕНИЕ РЕМОНТОМ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПО ПРОГНОЗИРУЕМОЙ НАРАБОТКЕ НА ДЕФЕКТ

Д. Д. Деговцов[1], В. М. Левин[2]

[1, 2]Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия
[1]dan4o3014@mail.ru

Эксплуатация оборудования электрических сетей неизбежно сопровождается его отказами с нарушениями функционирования энергообъектов, простоями, недоотпуском энергии потребителям и прочими нежелательными последствиями. Причиной отказов электроснабжения являются неисправности и дефекты в электрооборудовании. Неизменным стремлением исследователей служит создание возможности для прогнозирования развития отказов электрооборудования на основе различных предиктивных моделей и методов [1, 2].

Возможность достоверного прогнозирования отказов в процессе эксплуатации электрооборудования обеспечивает повышение надежности работы электрических сетей и снижение суммарных затрат на их техническое обслуживание. В этой связи задача предиктивной оценки отказов на основе исследования параметров потока дефектов представляется достаточно актуальной и перспективной.

Как известно [3], отказы электрооборудования подразделяются на внезапные и постепенные. Основной причиной внезапных отказов является скачкообразное превышение предельно допустимых значений одним или несколькими параметрами состояния, например, прекращение протекания тока при обрыве токопроводящей цепи или бросок тока при коротком замыкании. Такие отказы протекают во времени практически мгновенно и не допускают какой-либо возможности управления ими[1]. Единственным условием предотвращения внезапных отказов служит соблюдение правил и норм технической эксплуатации объекта. Постепенные отказы связаны с монотонным изменением во времени одного или нескольких параметров состояния объекта в результате его старения и износа, коррозии и усталости. К таким отказам применим термин «деградационные от-

© Деговцов Д. Д., Левин В. М., 2024

[1] Управление отказами рассматривается в контексте создания условий, препятствующих их возникновению

казы». Процесс возникновения деградационных отказов связан со стадиями развития определенных дефектов в оборудовании и может быть достаточно длительным во времени. Эта продолжительность развития дефекта и вызываемого им отказа позволяет обеспечить эффективный диагностический контроль и планировать наилучший момент его устранения средствами технического обслуживания и ремонта (ТОиР) оборудования.

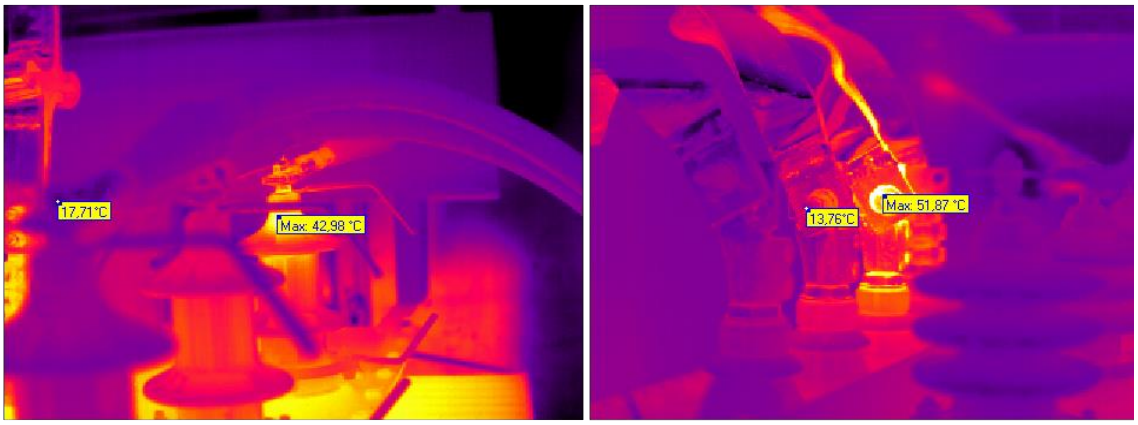
Оборудование электрических сетей в целом подвержено однотипному влиянию таких факторов, как: напряженность электромагнитного поля, температурные перепады, воздействия перенапряжений и сверх токов, окисление, увлажнение и др. В этой связи разные виды электрооборудования имеют весьма схожие механизмы и стадии развития дефектов. Например, известна классификация, включающая три стадии развития дефекта: «начальную» (Н) – незначительное превышение одним или несколькими параметрами состояния установленных предельных норм, «развитую» (Р) – значительное превышение, «аварийную» (А) – критическое превышение. В соответствии с указанной классификацией дефект типа Н не нуждается в учащенном контроле и допускает продолжение эксплуатации оборудования в штатных режимах. Напротив, дефект типа Р требует учащенного контроля и нуждается в устранении при ближайшем по графику плановом отключении объекта. Аварийная стадия развития дефекта А наиболее опасна внезапным возникновением отказа. Поэтому фиксация в электрооборудовании дефекта типа А требует от службы эксплуатации особого внимания и незамедлительного отключения объекта для устранения данного дефекта.

В распределительных электрических сетях нефтепромыслов особого внимания заслуживает наиболее массовое и ответственное электрооборудование комплектных трансформаторных подстанций (КТП) и воздушные линии электропередачи (ВЛ) напряжением 6 (10) кВ. Дефекты в этом оборудовании выявляются в результате периодических осмотров и углубленных осмотров с применением методов и средств диагностики и неразрушающего контроля. Одним из базовых методов неразрушающего контроля применительно к объектам 6 (10) кВ признано тепловизионное обследование (ТВО). Метод ТВО позволяет оперативно и бесконтактно определять значение разности температуры нагрева поверхности объекта в точке контроля $\theta_п$°С и температуры окружающей среды $\theta_с$°С:

$$\Delta\theta = \theta_п - \theta_с \qquad (1)$$

и фиксировать изображение контролируемого объекта в инфракрасном излучении (рис. 1).

На рис. 1 представлены термограммы поверхностей разных функциональных узлов работающего трансформаторного оборудования. Изображения содержат информацию о техническом состоянии узлов в форме максимальных температур нагрева (°С) в зоне предполагаемого дефекта.



ТМ-630 6/0,4 кВ КТП-2 К-152Б ТМ-630 6/0,4 кВ КТП-2 К-160А

Рис. 1. Термограммы дефектных трансформаторов

Как правило, формирование диагностической базы термограмм собственного парка оборудования электросетевой компании чрезвычайно востребовано. Оно не только облегчает идентификацию вновь обнаруживаемых дефектов, но и повышает репрезентативность статистических выборок по типам контролируемых объектов, видам дефектов и стадиям их развития. Применение же к указанным выборкам штатных методов математической статистики, обработки данных и проверки гипотез [4] позволяет разработать модели предиктивной оценки параметров потока дефектов для управления процессами ТОиР электрооборудования.

Авторами исследован случайный процесс дефектообразования с фиксацией стадий развития дефектов в оборудовании одной из сетевых компаний, питающих объекты нефтепромыслов на территории ЯНАО. В качестве объектов, контролируемых с помощью периодических ТВО, рассмотрены трансформаторы КТП 6/0,4 кВ. Отбраковка оборудования выполнялась по параметру (1). При отбраковке оборудования по результатам ТВО и идентификации стадии развития дефекта использованы следующие критерии (табл. 1).

Глубина ретроспективы для обследованных трансформаторов КТП 6 (10) кВ в количестве 954 единицы составляла 6 лет и включала 383 дефектных протокола ТВО, из которых 47 протоколов идентифицировано как Н, 229 как Р, 107 как А. Это подтверждало достаточную репрезентативность исследуемых статистических данных. Поскольку по регламенту ТВО КТП 6 (10) кВ в течение календарного года выполнялось ежемесячно, все трансформаторы за рассмотренный интервал времени были подвергнуты диагностическому обследованию. Статистика представляла собой формат данных многолетних стендовых испытаний однотипного оборудования, что определило методы ее обработки. Интервал наблюдения 8 640 часов разбивался на 18 равных временных интервалов по 480 часов в каждом. На элементарном временном интервале определялось количество вы-

явленных по критериям табл. 1 дефектов в *j*-й стадии развития. Были сформированы интегральные функции распределения случайной величины интервала наработки $F(\tau_d^{\text{H}})$, $F(\tau_d^{\text{P}})$, $F(\tau_d^{\text{A}})$, значения которых характеризовали вероятности обнаружения в трансформаторе дефекта в *j*-й стадии развития. На рис. 2, *а*, в качестве примера приведена зависимость $F(\tau_d^{\text{P}})$ для самой представительной выборки данных.

Таблица 1

Критерии идентификации дефектов по результатам ТВО*

Диапазон	Стадия развития дефекта	Рекомендация по эксплуатации
$\Delta\theta \leq 5$ °С	Н «начальная»	Периодический контроль
$5 < \Delta\theta \leq 35$ °С	Р «развитая»	Ревизия во время ближайшего профилактического ремонта
$\Delta\theta > 35$ °С	А «аварийная»	Срочный вывод из работы для восстановления

Примечание. * Из корпоративного регламента по применению ТВО электрооборудования электросетевой компании.В качестве параметра потока дефектов использован интервал наработки на дефект в определенной стадии развития, рассчитываемый по формуле $\tau_d^j = \Delta T \cdot {N_d}/{N_d^j}$, где N_d^j, N_d (шт.) и ΔT (час/лет) – количество протоколов ТВО трансформаторов КТП 6(10) кВ с выявленными дефектами в *j*-й стадии развития (j = Н, Р, А), суммарное количество дефектных протоколов и интервал наблюдения (глубина ретроспективы) соответственно.

Аппроксимация интегральной функции распределения полиномом вида

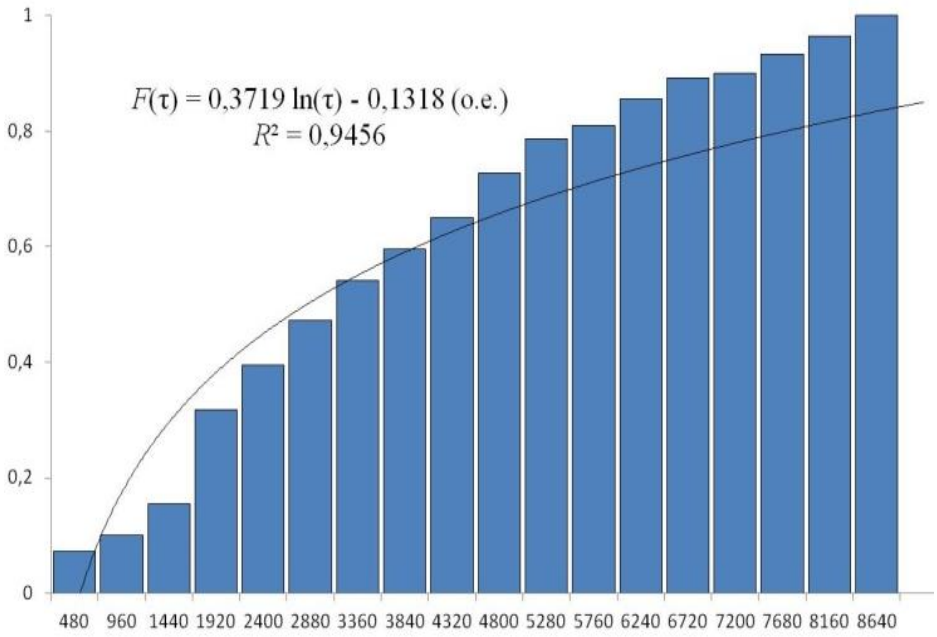
$$F(\tau_d^{\text{P}}) = 0{,}3719\ln(\tau) - 0{,}1318$$

позволяла определить вероятности противоположных событий: $P(\tau_d^{\text{P}})$ – вероятности того, что дефект типа Р не возникнет на рассматриваемом интервале наработки, и $Q(\tau_d^{\text{P}}) = 1 - P(\tau_d^{\text{P}})$ – вероятности того, что при тех же условиях дефект возникнет (рис. 2, *б*).

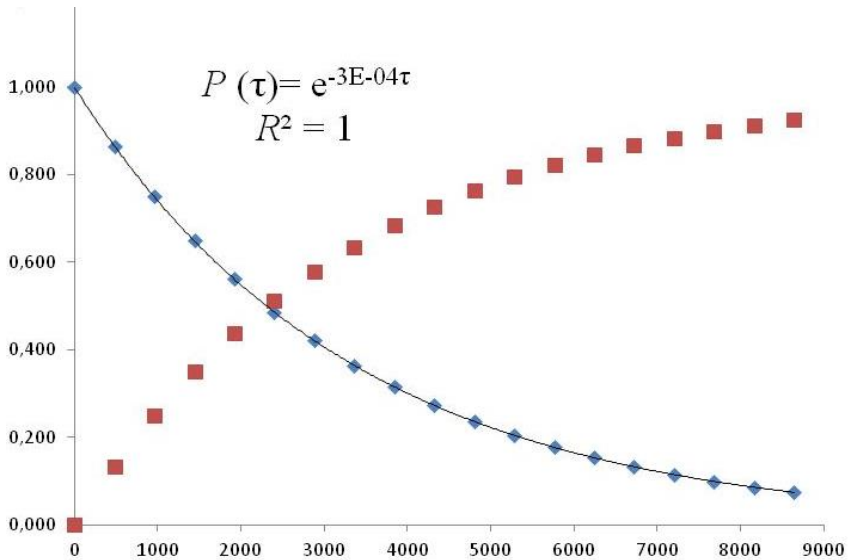
Как видно из рис. 2, закон изменения вероятностей близок к экспоненциальному, что подтвердила проверка начальной гипотезы о принадлежности распределения $F(\tau_d^{\text{P}})$ экспоненциальному закону по критерию Колмогорова – Смирнова. Значения параметра потока дефектов типа Р составили 2,592 1/год или $\omega_d^{\text{P}} = 0{,}0003$ 1/час, а наработка на дефект со стадией развития Р соответственно равна 0,386 года, или 3 335 часа.

Одним из вариантов применения результатов предиктивной оценки наработки на дефект типа Р в оборудовании электрической сети является настройка характеристик системы ТОиР и, в частности, уточнение эффективной периодичности профилактик $T_{\text{п}}$. Это означает, что профилактиче-

ский ремонт конкретного вида оборудования будет производиться по необходимости, то есть строго в соответствии с прогнозируемой наработкой на дефект типа Р. Результатом такого управления ТОиР будет повышение надежности электроснабжения потребителей за счет сокращения количества деградационных отказов оборудования (большинство из которых выявляется на ранней стадии развития), а кроме того снижение эксплуатационных затрат электросетевой компании из-за сокращения количества избыточных аварийных отключений оборудования.



а



б

Рис. 2. Эмпирическая функция распределения вероятности обнаружения дефекта типа Р (*а*), расчетные вероятности обнаружения дефекта типа Р на интервале наработки (*б*)

В [5] представлена унифицированная статистическая модель, позволяющая рассчитать зависимость эффективной периодичности профилактик $T_{\text{п}}$ (год) оборудования от прогнозируемой наработки на дефект (при фиксированных условиях эксплуатации) в виде:

$$T_{\text{п}}\left(\tau_d^{\text{P}}\right) = \frac{1 + \Delta t T_{\text{к}} + \omega q_3 \Delta t T_{\text{ав}}}{q_2 \Delta t}, \qquad (2)$$

В выражении (2) приняты следующие обозначения: Δt, $T_{\text{к}}$ (год) – периодичность и продолжительность диагностического контроля (в данном случае ТВО); ω (год$^{-1}$), $T_{\text{ав}}$ (год) – средняя частота отказов и среднее время восстановления контролируемого оборудования; q_2, q_3 (о. е.) – вероятности исходов диагностирования (q_2, дефект возникнет, но не успеет развиться до отказа, принадлежит стадии «развитый»; q_3, дефект возникнет и успеет развиться до отказа, принадлежит стадии «аварийный»).

На рис. 3 представлены результаты расчетов с применением (2) при следующих условиях: $\Delta t = 0{,}0833$, $T_{\text{к}} = 0{,}0001$, $T_{\text{ав}} = 0{,}001$ (год); $\omega = 0{,}015$ (год$^{-1}$); $q_2 = 0{,}6$, $q_3 = 0{,}28$ совместно с $q_1 = 0{,}12$ эти вероятности составляют полную группу событий.

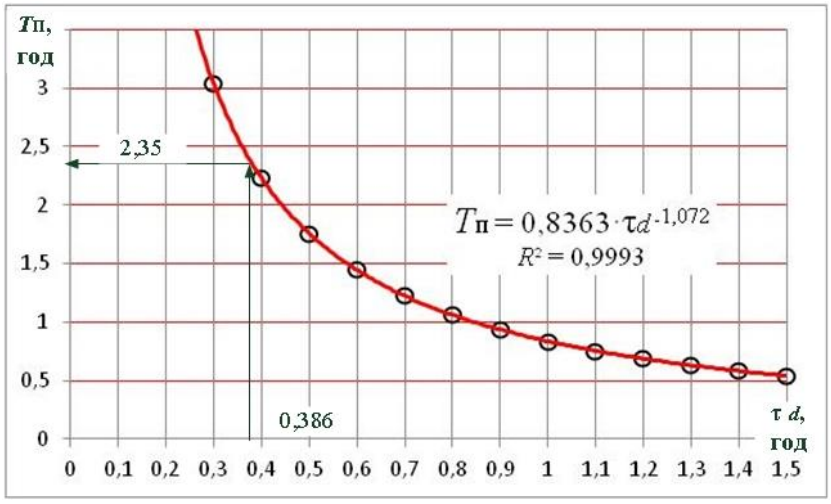


Рис. 3. Расчетная зависимость периодичности профилактик трансформатора 6 (10) кВ от прогнозируемой наработки на «развитый» дефект

Полученные для трансформатора КТП 6 (10) кВ результаты демонстрируют возможность определения эффективной периодичности его профилактического ремонта с целью предотвращения отказа непосредственно по прогнозируемой наработке на «развитый» дефект.

Список источников

Timothy L. J., Shantala A. R., Kevin E. W. Condition Prediction for Manufacturing Electrical Equipment // IFAC Proceedings Volumes. 2004. N 37. P. 373–382.

Shcherbatov I., Lisin E., Rogalev A., Tsurikov G., Dvořák M., Strielkowski W. Power Equipment Defects Prediction Based on the Joint Solution of Classification and Regression Problems Using Machine Learning Methods // Electronics. 2021. N 10. P. 3145.

ГОСТ Р 27.102–2021. Надежность в технике: Надежность объекта. Термины и определения. М. : Российский институт стандартизации, 2021. 35 с.

Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов. 7-е изд. М. : Высш. шк., 1999. 479 с.

Левин В. М., Танфильева Д. В. Управление надежностью и техническим состоянием оборудования в задачах эксплуатации электрических сетей : монография. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2023. 240 с.

УДК 621.311.001.57

СИНТЕЗ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЗАРЯДКИ КАРЬЕРНОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ ТЕХНИКИ ПО СТАНДАРТУ GB/T

С. И. Дедов[1], Е. Ю. Абрамов [2], А. А. Штанг[3], Wu Xiaogang[4]

[1, 2, 3] Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
[4] Хэбэйский технологический университет, Тяньцзинь, Китай
[1]dedov_s.i@mail.ru

В современном мире энергетические проблемы становятся все более острыми. Вместе с тем одной из наиболее энергоемких отраслей промышленности является горнодобывающий сектор, поэтому повышение энергоэффективности и декарбонизация производственных процессов на горнодобывающих предприятиях имеют важное значение [1]. Особую актуальность при этом приобретает электрификация горной техники, так как это направление обуславливает снижение выбросов выхлопных газов, уровня шума, потребности в закупке топлива, затрат на вентиляцию шахт и сервисное обслуживание техники на электрической тяге в сравнении с техникой, снабженной двигателем внутреннего сгорания (ДВС) [2].

Ретроспективный анализ научных источников показывает, что за последнее время значительно увеличилось число работ, посвященных исследованию применения карьерной техники с аккумуляторными батареями для открытых горных работ, а также подземных машин на электротяге [3]. Несмотря на относительную новизну данного направления, такие компании, как Komatsu Dressta Co., Ltd., Inner Mongolia North Hauler Joint Stock Co., Ltd. и China National Coal Mining Equipment Co., Ltd. разрабатывают и выпускают электрическую горнодобывающую технику. Примерами данной техники являются гусеничные бульдозеры, самосвалы, грузовики, бурильные станки, шахтные локомотивы и др. [4]

В России сегодня не сформированы требования по применению какого-то одного вида зарядного интерфейса, фактически для подзарядки городских электротранспортных средств используются все перечисленные [5].

© Дедов С. И., Абрамов Е. Ю., Штанг А. А., Xiaogang Wu, 2024

Целью настоящей работы является разработка имитационной модели силовой и интерфейсной части системы зарядки ЭТС по стандарту GB/T для горнодобывающей промышленности.

Перечень задач, которые будут решаться с использованием результатов имитационного моделирования, включает отладку следующего функционала разрабатываемых технических средств:

1) тестирование ЭТС на предельно допустимые режимы работы (рис. 1, *а*) – тестирование системы управления ЭТС в условиях отклонений параметров силовой части зарядного интерфейса и линии коммуникации от значений, предписанных соответствующим стандартом;

2) тестирование зарядной станции (ЗС) (рис. 1, *б*) – могут быть сымитированы паразитные параметры зарядного кабеля (R, L, C) и аварийные режимы (короткое замыкание, перегрузка, снижение сопротивления изоляции) для проверки ответной реакции зарядной станции;

3) мониторинг и регистрация данных, получаемых при параллельном (рис. 1, *в*) или последовательном (рис. 1, *г*) подключении к системе ЗС-ЭТС.

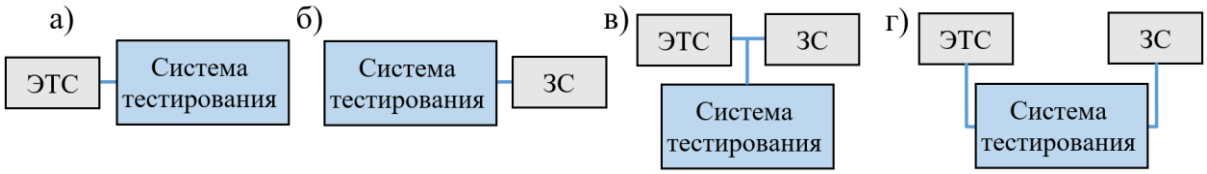


Рис. 1. Варианты применения системы тестирования

Область использования результатов, на получение которых направлена представленная в данной статье имитационная модель системы зарядки ЭТС для интерфейса GB/T, охватывает как непосредственно разработку зарядных электроустановок, так и тестовые испытания при серийном производстве такого оборудования, а также диагностику и отладку техники при проведении технических осмотров и ремонтных работ в процессе эксплуатации. На основе полученных результатов ведется работа по созданию специализированного контроллера для зарядных станций, а также технических средств диагностики и тестирования.

Стандарт зарядки GB/T представляет собой серию нормативных документов Китая, аналогично подобным стандартам Общества автомобильных инженеров (SAE), Международной электротехнической комиссии (IEC) и Международной организации по стандартизации (ISO), которые устанавливают требования к оборудованию ЗС, физическому подключению между ЗС и ЭТС и протоколу связи. Всего используются пять документов.

1. GB/T 18487.1–2015 Проводящие зарядные системы для электромобилей (Часть 1: Общие требования).

2. Разъемы GB/T 20234.1-2015 для проведения зарядки электротранспортных средств (Часть 1: Общие требования).

3. Разъемы GB/T 20234.2-2015 для проведения зарядки электротранспортных средств (Часть 2: Интерфейсы зарядки переменного тока).

4. Разъемы GB/T 20234.3-2015 для проведения зарядки электротранспортных средств (Часть 3: Интерфейсы зарядки постоянным током).

5. Протокол связи GB/T 27930-2015 между внешним токопроводящим зарядным устройством и системой управления батареями электротранспортного средства.

Процесс обмена информацией и командами между ЗС и ЭТС осуществляется с помощью интерфейса CAN на базе протокола связи CAN 2.0. Стандартная скорость составляет 250 кбит/с, однако в случае ухудшения внешних условий данное значение может быть снижено вплоть до 50 кбит/с. Применяемый протокол обмена данными описан в стандарте GB/T 27930-2015, он основан на SAE J1939.

В статье рассматривается вид быстрой зарядки постоянным током, обозначенный стандартом как «Зарядное устройство Mode 4». Данный вариант предполагает подачу на аккумулятор ЭТС постоянного напряжения через внебортовое зарядное устройство (ЗУ), постоянно соединенное с питающей сетью переменного тока, с использованием интерфейса, описываемого стандартом GB/T 20234.3. Коннектор содержит девять контактов (рис. 2):

1) DC+ (положительный силовой контакт);

2) DC– (отрицательный силовой контакт);

3) PE (protective earth – защитное заземление);

4) S+ (CAN High);

5) S- (CAN Low);

6) CC1 (charging confirmation – подтверждение зарядки);

7) CC2 (charging confirmation – подтверждение зарядки);

8) A+ (положительный контакт вспомогательного источника питания);

9) A– (отрицательный контакт вспомогательного источника питания).

Для сигнализации предусмотрено четыре контакта: два для контроля физического соединения (CC1/CC2) и два для связи по шине CAN (S+/S–). Кроме этого, разъем GB/T 20234.3 обеспечивает вспомогательное питание схемы управления ЭТС с максимальным постоянным напряжением 30 В и током до 20 А (A+/A–).

Процесс зарядки включает в себя следующие этапы (рис. 3):

1) физическое подключение ЭТС к ЗУ;

2) подключение низковольтного вспомогательного питания;

3) квитирование;

4) настройка и согласование параметров зарядки;

5) зарядка;

6) завершение зарядки.

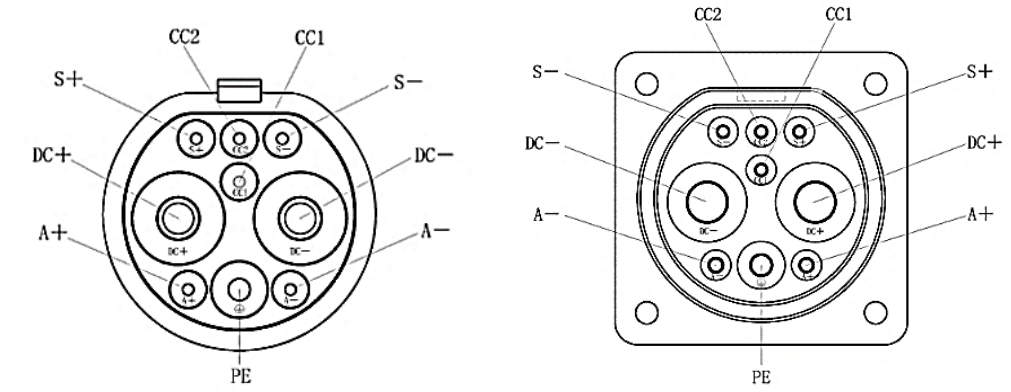


Рис. 2. Схема расположения контактов коннектора и розетки GB/T 20234.3



Рис. 3. Общая схема зарядки

В процессе заряда ЗУ и ЭТС обмениваются сообщениями о текущем состоянии, разрешении на работу, об отсутствии ошибок и пр. В случае неполучения за отведенное нормированное время сообщения, необходимого для дальнейшей работы, либо получения некорректного сообщения, событие фиксируется как тайм-аут. При возникновении тайм-аута ЭТС или ЗУ входит в состояние обработки ошибки, и в зависимости от неисправности осуществляются различные последовательности завершения зарядки.

На основании выполненного анализа документации стандарта GB/T разработана имитационная модель системы заряда, общий вид которой представлен на рис. 4.

Модель (рис. 4) включает следующие подсистемы:

1) переключатели для отработки отклонений от нормальных режимов работы (превышение тока утечки при проверке изоляции, невозможность блокировки замка коннектора ЗС);

2) имитация действий пользователя – нажатие и отпускание контакта S защел-ки коннектора ЗС, установка и извлечение его из розетки, запрет

выполнения вышепе-речисленных действий при наличии механической блокировки во время заряда;

3) логическая схема, выполняющая изменения напряжения в точке обнаруже-ния 1 ЗС и точке обнаружения 2 ЭТС, которые происходят при выполнении действий пользователем;

4) модель ЗУ постоянного тока, состоящая из вводной схемы с подключением к сети переменного тока, силовой части ЗУ, блока управления, а также подсистемы для формирования сообщений для ЭТС по CAN-интерфейсу;

5) модель ЭТС, состоящая из аккумуляторной батареи, блока управления, а также подсистемы для отправки CAN-сообщений.

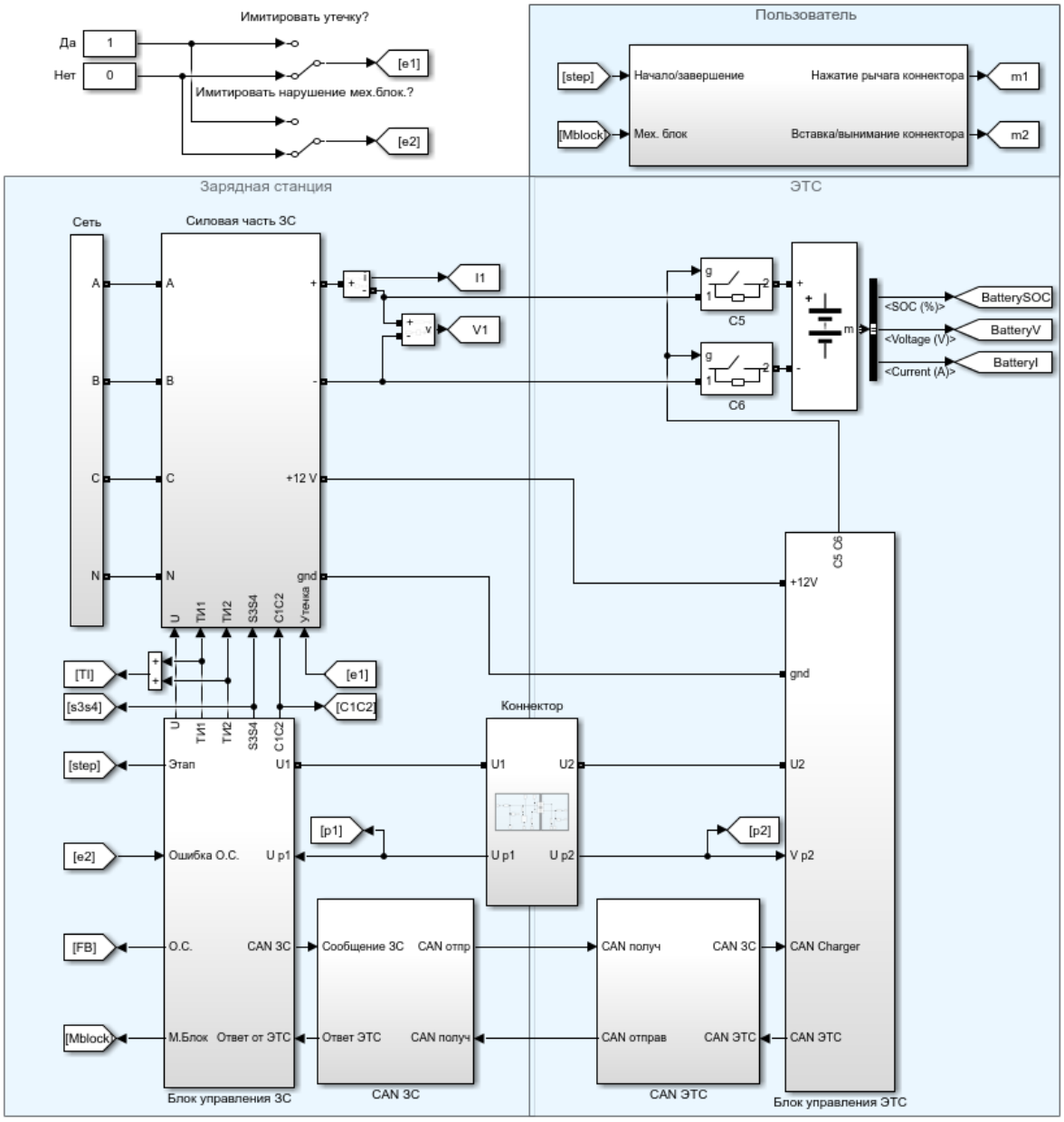


Рис. 4. Общий вид модели системы заряда по стандарту GB/T

Выводы

В статье представлена разработка имитационной модели системы зарядки ЭТС с использованием зарядного интерфейса GB/T, на основе которой ведется работа по созданию специализированного контроллера для зарядных станций, а также технических средств диагностики и тестирования. Модель позволяет эмитировать процессы взаимодействия ЗС и ЭТС на всех этапах, предусмотренных стандартом GB/T.

Список источников

1. Lingyu Meng, Guofa Wang, Khay Wai See. Large-Scale Li-Ion Battery Research and Application in Mining Industry // Energies. 2022. Vol. 15 (11). P. 1-31. DOI: 10.3390/en15113884.

2. Lindgren L., Grauers A., Ranggård J., Mäki R. Drive-Cycle Simulations of Battery-Electric Large Haul Trucks for Open-Pit Mining with Electric Roads // Energies. 2022. Vol. 15, N 4871. P. 1–19. DOI: 10.3390/en15134871.

3. Дедов С. И., Штанг А. А., Абрамов Е. Ю. Исследование деградации аккумуляторов в составе тяговой установки карьерных самосвалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 12. С. 102–114. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_122_0_102.

4. Polnik B., Kaczmarczyk K., Niedworok A., Baltes R., Clausen E. Energy recuperation as one of the factors improving the energy efficiency of mining battery locomotives // Management Systems in Production Engineering. 2020. № 4 (28). С. 253–258. DOI: 10.2478/mspe-2020-0036.

5. Спиридонов Е. А., Ярославцев М. В. Оценка эффективности применения накопителей энергии на карьерном железнодорожном транспорте // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 12-2. С. 241–256. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_122_0_241.

УДК 621.311.001.57

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТАРЕНИЯ ЛИТИЕВОГО АККУМУЛЯТОРА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

С. И. Дедов[1], Н. И. Щуров[2], Е. Ю. Абрамов[3]

[1, 2, 3]Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия
[1]dedov_s.i@mail.ru

Старение литиевого аккумулятора электромобиля является актуальной проблемой в вопросе повышения технического ресурса электромобиля [1]. Наибольшее влияние на скорость изменения емкости аккумулятора оказывает величина тока тяги. Поэтому с целью минимизации воздействий больших разрядных токов рассмотрено применение батарейного накопителя энергии (БНЭ) с высокими мощностными показателями и большим ресурсом по количеству циклов заряда-разряда [2, 3]. Для оценки технического решения в вычислительной среде MATLAB Simulink синтезирована модель электромобиля Nissan Leaf, относящегося к III классу по удельной установленной мощности, со стандартной и гибридной накопительной установкой энергоемкостью 24 кВт·ч.

Типовая конфигурация энергоустановки электромобиля включает в себя АБ, импульсный преобразователь, тяговый электродвигатель (ТЭД/Г), трансмиссию и колесную пару (К) [4]. Для совершения работы по перемещению энергия потребляется из БН и возвращается в него при рекуперативном торможении, а запас хода ЭТС определяется его энергоемкостью [5, 6].

В гибридной накопительной установке параметры основного накопителя энергии (ОНЭ) определяются исходя из требуемой дальности хода, а токовая нагрузка на нем ограничивается. БНЭ необходим для отдачи энергии во время пиков нагрузок для исключения кратковременных перегрузок ОНЭ и подзаряда во время рекуперативного торможения [7]. Схема привода электромобиля с гибридным накопителем представлена на рис. 1. При совместной работе ОНЭ обеспечивает энергию на собственные нужды электромобиля и на перемещение с низкой динамикой, а БНЭ отдает энергию, накопленную в результате рекуперативного торможения во время пиковых нагрузок [8].

© Дедов С. И., Щуров Н. И., Абрамов Е. Ю., 2024

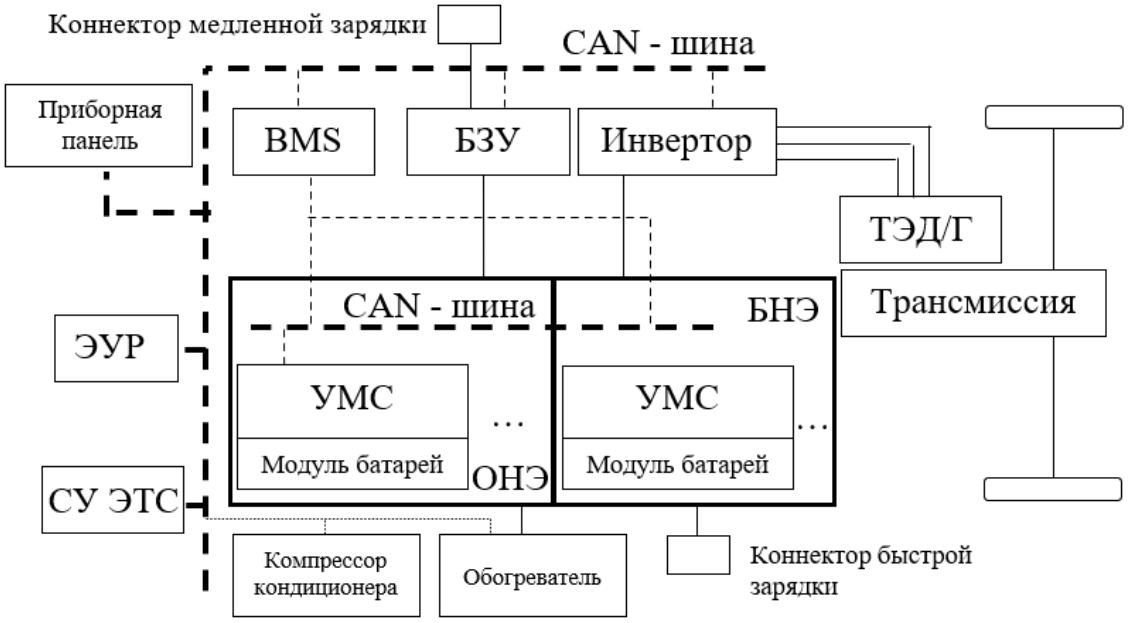


Рис. 1. Модернизированная схема тягового привода электромобиля с БНЭ

Синтез модели электротранспортного средства [9] со стандартной накопительной установкой представлена на рис. 2 в вычислительной среде MATLAB Simulink и включает себя:

• подсистему П1, задающую транспортную нагрузку на тяговый привод электромобиля на основе диаграмм скорости и ускорения WLTC, а также текущего состояния аккумулятора;

• подсистему П2, рассчитывающую реализуемую мощность ТЭД с учетом КПД установки и сопротивления движению;

• подсистему П3, определяющую режим работы и величину тока аккумулятора на основе его уровня заряда (SOC);

• электрическую цепь, формирующую величину тока на аккумуляторе, полученную в подсистеме П3.

В качестве ездового цикла используется Worldwide harmonized light vehicles test cycle (WLTC), заданный в модели повторяющимся сигналом скорости V. Кроме этого, блок M задает массу ЭТС, «Ток заряда» – величину зарядного тока.

По данным аналитического агентства «Автостат» [106], ежегодный пробег автомобилей варьируется в диапазоне 14–21 тыс. км, либо 39–58 км в день. Для имитации транспортной активности принято, что ежедневно электромобиль проезжает цикл WLTC дважды (т. е. 46 км).

В подсистеме П1 (рис. 3) переключается режим работы схемы в зависимости от сигнала состояния аккумулятора – State. Нулевой сигнал свидетельствует о режиме заряда аккумулятора, равный единице – режиме разряда. В блоке 1-DT(u) поточечно задан ездовой цикл WLTC с периодом дискретизации 1 с. Для повторения нагрузки в течение работы сигнал состояния интегрируется, а по достижении окончания ездового цикла либо

при переключении схемы в режим заряда аккумулятора происходит сброс выходного значения интегратора.

Возможности MATLAB Simulink позволяют линеаризовать полученные характеристики.

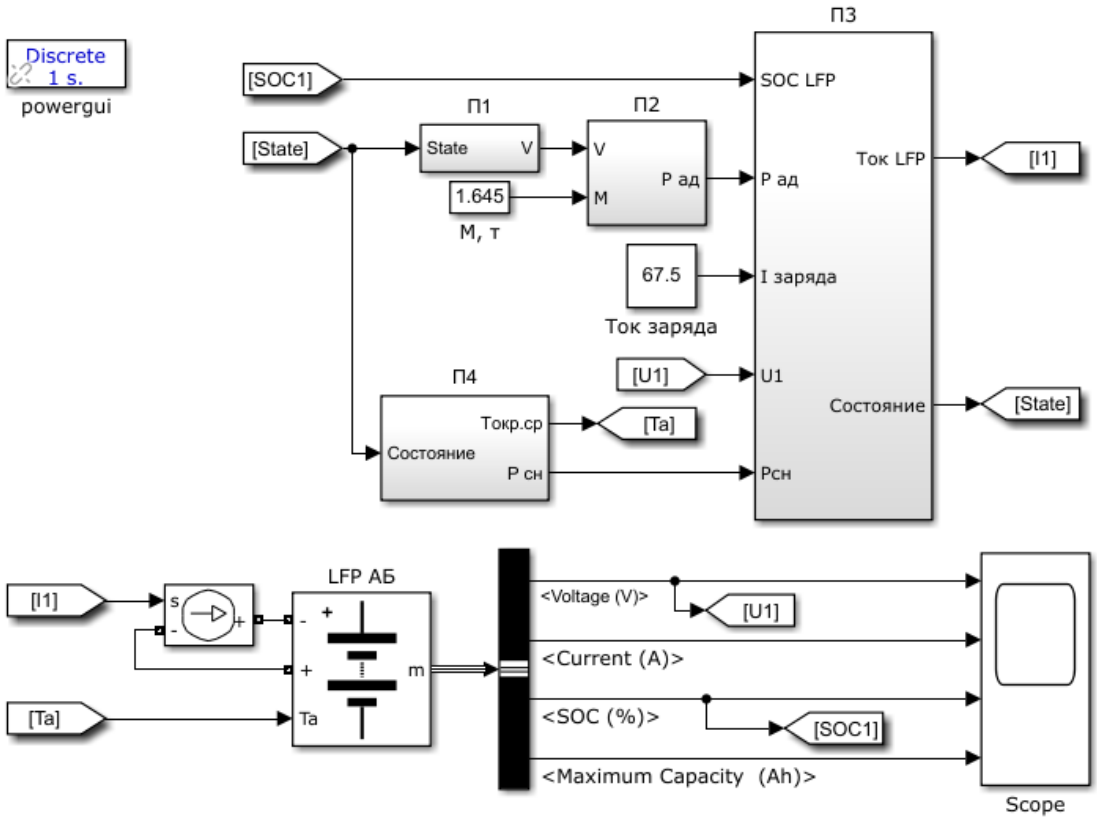


Рис. 2. Имитационная модель старения аккумулятора электромобиля со стандартной накопительной установкой

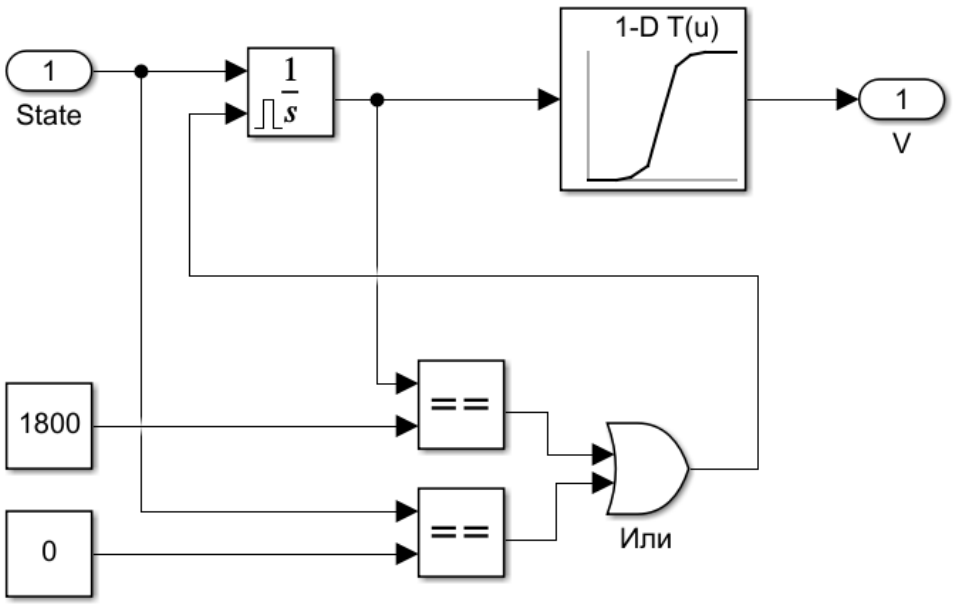


Рис. 3. Подсистема П1

Выводы

На основе полученных данных о тестировании аккумуляторов определено, что внедрение БНЭ в состав накопительной установки электромобиля, ограничивающего токовую перегрузку ОНЭ, позволит увеличить его ресурс. Синтезирована модель, имитирующая токовую и температурную нагрузку БН при движении электромобиля.

Список источников

1. Lingyu Meng, Guofa Wang, Khay Wai See. Large-Scale Li-Ion Battery Research and Application in Mining Industry // Energies. 2022. Vol. 15 (11). P. 1–31. DOI: 10.3390/en15113884.

2. Lindgren L., Grauers A., Ranggård J., Mäki R. Drive-Cycle Simulations of Battery-Electric Large Haul Trucks for Open-Pit Mining with Electric Roads // Energies. 2022. Vol. 15, N 4871. P. 1–19. DOI: 10.3390/en15134871.

3. Дедов С. И., Штанг А. А., Абрамов Е. Ю. Исследование деградации аккумуляторов в составе тяговой установки карьерных самосвалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. N 12. P. 102–114. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_122_0_102.

4. Polnik B., Kaczmarczyk K., Niedworok A., Baltes R., Clausen E. Energy recuperation as one of the factors improving the energy efficiency of mining battery locomotives // Management Systems in Production Engineering. 2020. N 4 (28). P. 253–258. DOI: 10.2478/mspe-2020-0036.

5. Спиридонов Е. А., Ярославцев М. В. Оценка эффективности применения накопителей энергии на карьерном железнодорожном транспорте // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 12-2. С. 241–256. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_122_0_241.

6. Paraszczak J., Svedlund E., Fytas K, Laflamme M. Electrification of Loaders and Trucks – A Step Towards More Sustainable Underground Mining // Renewable Energy and Power Quality Journal. 2014. Vol. 12. P. 81–86. DOI: 10.24084/repqj12.240.

7. Martyushev N. V., Malozyomov B. V., Sorokova S. N., Efremenkov E. A., Qi M. Mathematical Modeling of the State of the Battery of Cargo Electric Vehicles // Mathematics. 2023. Vol. 11. P. 536. URL: https://doi.org/10.3390/math11030536.

8. Khalikov I. H., Kukartsev V. A., Kukartsev V. V., Tynchenko V. S., Tynchenko Y. A., Qi M. Review of Methods for Improving the Energy Efficiency of Electrified Ground Transport by Optimizing Battery Consumption // Energies. 2023. Vol. 16. P. 729. DOI: 10.3390/en16020729.

9. Shchurov N. I., Dedov S. I., Malozyomov B. V., Shtang A. A., Klyuev R. V., Andriashin S. N. Degradation of Lithium-Ion Batteries in an Electric Transport Complex // Energies. 2021. Vol. 14. P. 8072. URL: https://doi.org/10.3390/en14238072.

УДК 662.62

СНИЖЕНИЕ УРОВНЕЙ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 35 кВ С ПОМОЩЬЮ РЕАКТОРА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ

Е. В. Зубова[1], С. Г. Тигунцев[2]

[1, 2]Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия
[1]zubova@ex.istu.edu

Проблемы с качеством электрической энергии (КЭЭ), вызванные недопустимо высокими уровнями высших гармоник, проявляются в электрических сетях, питающих электрифицированные железные дороги, алюминиевые заводы и предприятия металлургической промышленности. Данные потребители являются наиболее вероятными виновниками ухудшения КЭЭ, влияющими на требования стандарта [1].

Существуют способы снижения несинусоидальности напряжения и компенсации уровней высших гармоник, но они не являются универсальными. Данные способы можно разделить на три группы [2]:

- схемные решения (выделение нелинейных нагрузок на отдельную систему шин; рассредоточение таких нагрузок по различным узлам системы электроснабжения; группирование преобразователей по схеме умножения фаз; подключение нагрузки к системе с большей мощностью);
- использование фильтровых устройств (включение параллельно нагрузке уз-кополосных резонансных фильтров; включение фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ); применение фильтросимметрирующих устройств; применение активных филь-тров продольного и поперечного включения);
- применение специального оборудования (например, характеризующегося по-ниженным уровнем генерации высших гармоник тока; использование «ненасыщаю-щихся» трансформаторов; применение многофазных преобразователей с улучшенными энергетическими показателями).

Многофункциональные устройства повышения качества электрической энергии воздействуют на несколько показателей качества электроэнергии (ПКЭ) одновременно. К таким устройствам относятся статические тиристорные компенсаторы. Схемы их могут быть различными, однако все

© Зубова Е. В., Тигунцев С. Г., 2024

они состоят из конденсаторов, реакторов и тиристоров, соединенных тем или иным способом. Такого типа устройства, обладая высоким быстродействием, снижают колебания напряжения. Пофазное регулирование генерируемой и потребляемой ими мощности позволяет симметрировать режим работы сети, а наличие в составе устройства ФКУ − снижать уровень высших гармоник [3–5].

У названных устройств для снижения уровня высших гармоник в сети есть недостаток, связанный с тем, что настройка должна осуществляться на частоту каждой гармоники, что высокозатратно при наличии несоответствий по нескольким высшим гармоникам. Предлагается рассмотреть эффективность применения для этой цели реактора последовательного включения.

Проблемы с высшими гармониками наблюдаются, как правило, в дефицитных энергосистемах с протяженными электрическими сетями и недостаточным количеством средств компенсации реактивной мощности. Для исследования данного вопроса взята схема реального участка сети 35 кВ с высокими уровнями высших гармоник и на ее основе сформированы модели для расчётов с использованием двух видов прикладных программ: в программно-вычислительном комплексе (ПВК) «Качество», разработанном на кафедре электрических станций, сетей и систем ИРНИТУ (г. Иркутск), и в среде MATLAB Simulink.

В качестве исходных данных для формирования математической модели для ПВК «Качество» были приняты: паспортные данные электрооборудования (ЛЭП, трансформаторов с их устройствами регулирования напряжения, устройства компенсации реактивной мощности), данные о нагрузках районных и тяговых потребителей, данные о напряжениях в узлах исследуемой электрической сети 35 и 10 кВ. Сформированная модель питающей сети отражает режимы, близкие к реальным режимам на основной частоте, на частоте высших гармоник, а также несимметричные режимы. При формировании модели обеспечена эквивалентность расчётных и измеренных ПКЭ.

В MATLAB Simulink составлена аналогичная имитационная модель электрической сети с использованием встроенных блоков с параметрами. На рис. 1 приведена модель в MATLAB Simulink рассматриваемой питающей сети. В модели использованы блоки библиотеки SimPowerSystems (источники переменного напряжения, тиристорный мост, система управления, RLC-цепи, измерители тока и напряжения) и блоки основной библиотеки Simulink (осциллограф, блок ступенчатого сигнала и т. д.). Для целей исследования существует возможность задания любого значения тока высших гармоник.

На графиках (рис. 2) представлены уровни высших гармоник до 21 гармоники без применения фильтра и с его применением, полученные в ПВК «Качество» для линии 35 кВ. По графикам видно, что присутствует высокий уровень высших гармоник с номерами 11, 13, 15, 17 и 19.

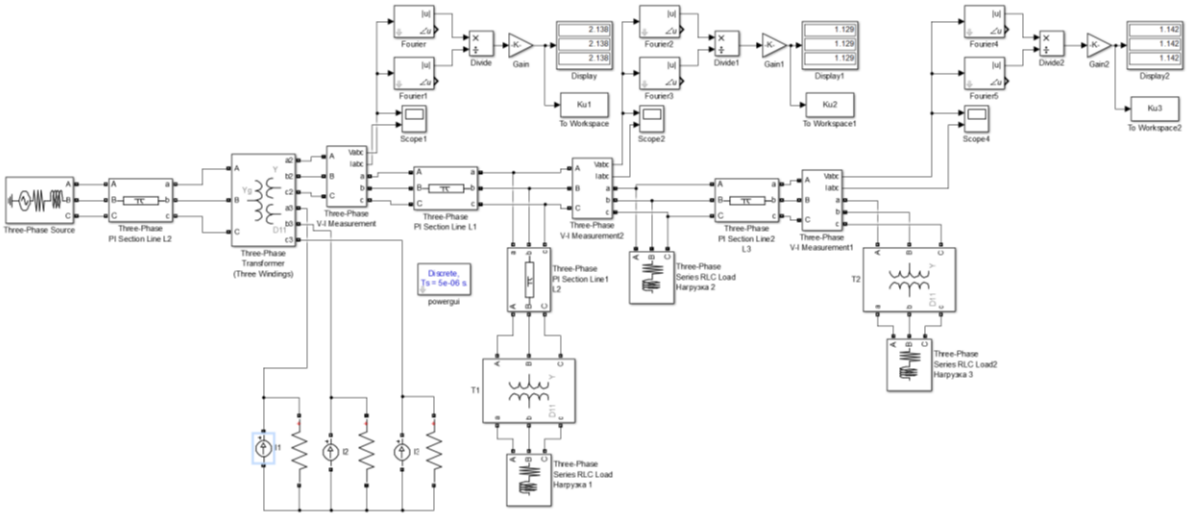


Рис. 1. Модель сети в MATLAB Simulink

При установке классического пассивного фильтра на преобладающую 13-ю гармонику снижается уровень только этой гармоники (рис. 2, *б*), а уровни остальных гармоник остались прежними. Таким образом, явным недостатком пассивных фильтров является необходимость их установки для каждой отдельной гармоники.

В режиме максимальных и минимальных нагрузок отклонения напряжений превышают допустимые значения. Для поддержания отклонений напряжений в норме требуется емкостная компенсация реактивной мощности в режиме максимальных нагрузок и индуктивная компенсация реактивной мощности в режиме минимальных нагрузок.

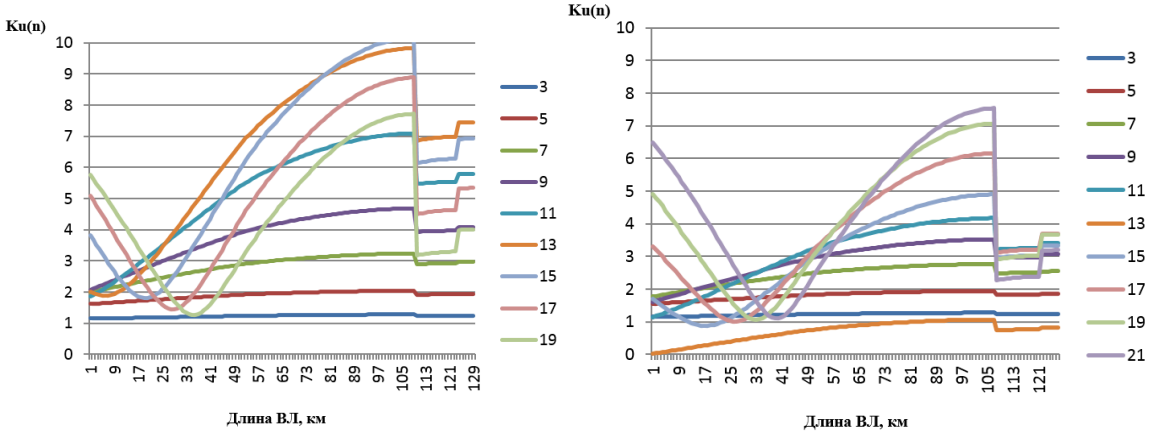
В качестве альтернативы существующим фильтрам было рассмотрено применение реактора (индуктивное сопротивление), включаемого последовательно с ЛЭП для расстройки резонансного контура. Данное устройство представляет собой индуктивность, сопротивление которой зависит от частоты:

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L \qquad (1)$$

В соответствии с [3, 4] и формулой (1), чем выше частота гармоники *f*, тем выше индуктивное сопротивление реактора X_L, следовательно в меньшей степени распространяются токи высших гармоник в линии электропередачи. Следовательно, будет меньше напряжение высших гармоник на нагрузке, подключенной к линии электропередачи. Таким образом, с помощью реактора, включенного последовательно с линией электропередачи в сети переменного тока, можно уменьшить токи высших гармоник в линии, подключенной к сети с несинусоидальным напряжением, и напряжения высших гармоник на нагрузках, подключенных к линии.

Для проверки эффективности данного предложения был выбран фильтровый реактор ФРТС 35-117-257,3 производителя [8] с номинальным

током 117 А и индуктивностью 0,257 Гн (80,7 Ом на частоте 1-й гармоники). Учитывая, что номинальный ток рассматриваемой линии 35 кВ составляет 100 А, данный реактор допустимо устанавливать в начале линии.



а *б*

Рис. 2. Графики коэффициентов *n* – *x* гармонических составляющих напряжения: *а* – без фильтра; *б* – с фильтром

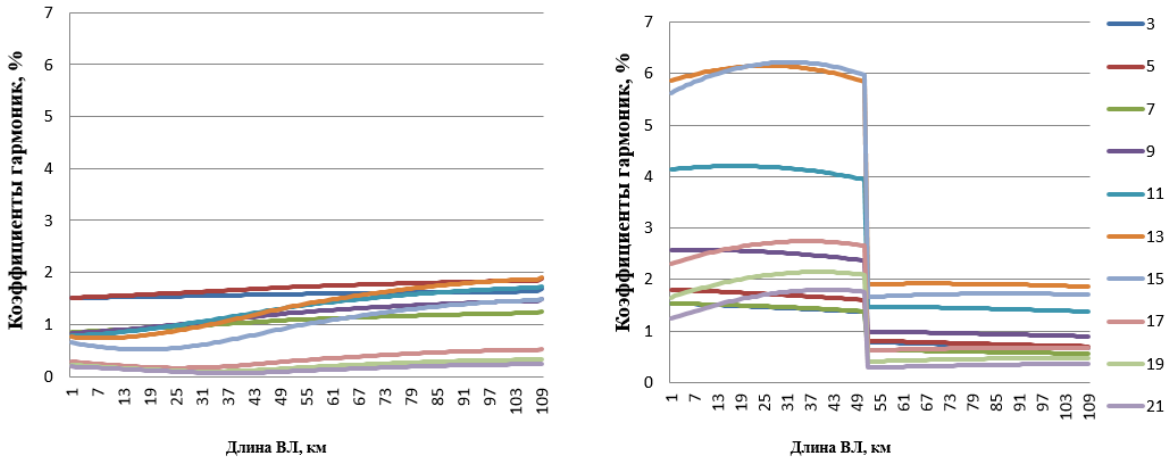


Рис. 3. Графики изменения коэффициентов *n* – *x* гармонических составляющих напряжения при установленном реакторе в начале линии (*а*) и на 51 км (*б*)

Расчеты на моделях и сопоставление графиков показали существенное уменьшение коэффициентов гармоник после установки реактора в рассечку линии. Сопоставление графиков показало, что реактор практически не влияет на коэффициенты увеличения напряжений высших гармоник. Дополнительно выполнен расчет варианта с установкой реактора на 51 км линии. На рис. 3 показаны графики изменения коэффициентов гармоник вдоль длины линии при нормальных нагрузках потребителей при реакторе, установленном в рассечку в начале линии и на 51 км линии 35 кВ. Отклонения напряжений основной частоты при этом удаётся скомпенсировать за счёт регулирования напряжения на трансформаторе, питающем линию,

а также с помощью установки дополнительных компенсирующих устройств на подстанциях у потребителей.

Выводы

По результатам проведенного анализа необходимо отметить, что несинусоидальность напряжений и уровень высших гармоник зависит от соотношения L-C параметров линии 35 кВ. С учётом того, что параметры режима постоянно изменяются в широком диапазоне, управление активными фильтрами и СКУ должно выполняться в режиме реального времени, что ведет к усложнению и удорожанию устройств. Для решения проблемы с высшими гармониками предложено применение бюджетного варианта – установки реактора в рассечку линии 35 кВ в начале линии с установкой шунтирующих нерегулируемых реакторов в режиме минимальных нагрузок потребителей, с отключением шунтирующих реакторов в режиме нормальных нагрузок и с включением емкостных компенсирующих устройств в режиме максимальных нагрузок.

Список источников

1. ГОСТ-32144–2013, Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. в действие Приказом Росстандарта от 22.07.2013 № 400-ст.

2. Управление КЭЭ : учеб. пособие / И. И. Карташев, В. Н. Тульский, Р. Г. Шамонов и др.; под ред. Ю. В. Шарова. 3-е изд., перераб. и доп. М. : МЭИ, 2017. 347 с.

3. Fedosov D. S. Research of multipulse rectification circuits for alternating current by the example of Taishet aluminum plant // Proceedings «Smart Grid for Efficient Energy Power System for the Future», Vol. I. Magdeburg-Irkutsk: OvGU, 2012.

4. Шеркунков М. А., Тигунцев С. Г. Метод совместной компенсации реактивной мощности, симметрирования нагрузки и фильтрации токов гармоник несимметричной нелинейной нагрузки, соединенной в треугольник // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2020. Т. 13, № 4. С. 455–461. DOI 10.17516/1999-494X-0237.

5. Федосов Д. С., Тарасов И. А., Воронцов Д. В. Исследование резонансных явлений на высших гармониках в схеме внешнего электроснабжения нелинейной нагрузки // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 4 (111). С. 145–154. DOI 10.21285/1814-3520-2016-4-145-154.

6. Симметрирование режимов в системах электроснабжения железнодорожной тяги / А. Н. Висящев, Б. Н. Каратаев, С. Г. Тигунцев, Д. С. Федосов // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № 1 (46). С. 60–63.

7. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии : Руководство для практических расчетов. М. : ЭНАС, 2009. 456 с.

8. Прянишников В. А. Теоретические основы электротехники : курс лекций. 4-е изд. СПб. : КОРОНА-принт, 2004. 368 с. ISBN 5-7931-0104-7.

9. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи : учебник для вузов. 5-е изд., испр. и доп. М. : Энергия, 1978. 592 с.

10. Каталог продукции НИПО РусЭнерго [Электронный ресурс]. URL: https://nipo-rusenergo.ru/reaktornoe-oborudovanie/frts-35-117.

УДК 621.311.171-048.34:519.857

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ МЕЖДУ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ РАЗЛИЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА БЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

А. С. Иванищев

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
aivanishchev@yandex.ru

При разработке главной схемы электрических соединений электростанций появляется вопрос о числе генераторов, присоединяемых к распределительным устройствам (РУ) различных напряжений [1], имея в виду, что общее число генераторов и их мощность, а также требуемая надежность связи между РУ уже установлены в проекте развития энергосистемы. Под надежностью связи между РУ понимается соединение РУ через один или два трансформатора (автотрансформатора) или установка резервной фазы в случае автотрансформаторной группы. Число трансформаторов связи принимается равным двум [2].

Согласно [3–7], задача распределения генераторов между РУ решается составлением вариантов, обеспечивающих одинаковый энергетический эффект и отличающихся наличием или отсутствием генераторов, подключенных к трансформаторам (автотрансформаторам связи), и различным числом генераторов, присоединенных к соответствующим РУ. Оценка вариантов производится по минимуму приведенных затрат. Учитывая ограниченную номенклатуру трансформаторов и автотрансформаторов, которые могут быть использованы для связи между РУ, можно предложить рассматриваемую далее методику, в которой распределение генераторов, обеспечивающих минимум приведенных затрат, осуществляется с учетом всех технически осуществимых вариантов, но без перебора их.

Строится ориентированная сеть с одним источником и стоком, вершины которой соответствуют мощности трансформаторов (автотрансформаторов) связи между РУ и числу генераторов, подключаемых к ним с указанными параметрами элементов схемы электростанций. Дуги – составляющие приведенных затрат определяемым указанными параметрами элементов схемы электростанций. По этой сети соответствующими приемами

© Иванищев А. С., 2024

[8, 9] можно найти путь с наименьшей длиной, т. е. соответствующим искомому минимуму приведенных затрат.

Если электростанция выдает мощность через три РУ, связанных между собой попарно двумя автотрансформаторами, соединяющими РУ более низкого с РУ следующего более высокого напряжения, генераторы имеют одинаковых мощность, а коэффициенты мощности суммарных нагрузок по напряжениям примерно равны. Тогда, нумеруя эти РУ в порядке возрастания напряжения, обозначим: общее число генераторов *n*, мощность каждого из них $S_{Г.НОМ}$, максимальные нагрузки на каждом напряжении $i - S_i^{'}$, минимальные $S_i^{''}$, а резервную мощность, которая может быть получена на каждом напряжении, – $S_{рез.i}$.

При числе генераторов n_i, присоединенных через блочные повышающие трансформаторы к РУ с номером *i*, и $n_{i,i+1}$ к обмоткам НН автотрансформаторов связи $i, i+1$:

$$\sum_{i=1}^{3} n_i + \sum_{i=1}^{2} n_{i,i+1} = n. \qquad (1)$$

При подключении генераторов к обмоткам НН двух автотрансформаторов связи число генераторов не будет превышать двух, а требуемая мощность каждого автотрансформатора связи должна быть не меньше определяемой мощностью его обмотки НН:

$$0 \le n_{12} \le \min(2; 2\frac{S_{T12НН}}{S_{Г.НОМ}}). \qquad (2)$$

Таким образом, автотрансформатору связи мощностью $S_{T12НН}$ может быть поставлено в соответствие одно или несколько значений n_{12}, что записывается как

$$\{n_{12}\} = S_{T12}\Gamma_1 \qquad (3)$$

Наличие в номенклатуре автотрансформаторов ряда значений номинальной мощности, соответствующих рассматриваемому соотношению номинальных напряжений $U_{2НОМ} / U_{1НОМ}$:

$$\{S_{T12}\} = \Gamma_0\left(\frac{U_{2НОМ}}{U_{1НОМ}}\right). \qquad (4)$$

С учетом (4) возможно представить соотношения в виде ориентированного графа (рис. 1), где вершины, расположенные в слое *1*, относятся

к различным значениям S_{T12}, а в слое *2* – к значениям n_{12}, относящимся к соответствующей величине S_{T12}.

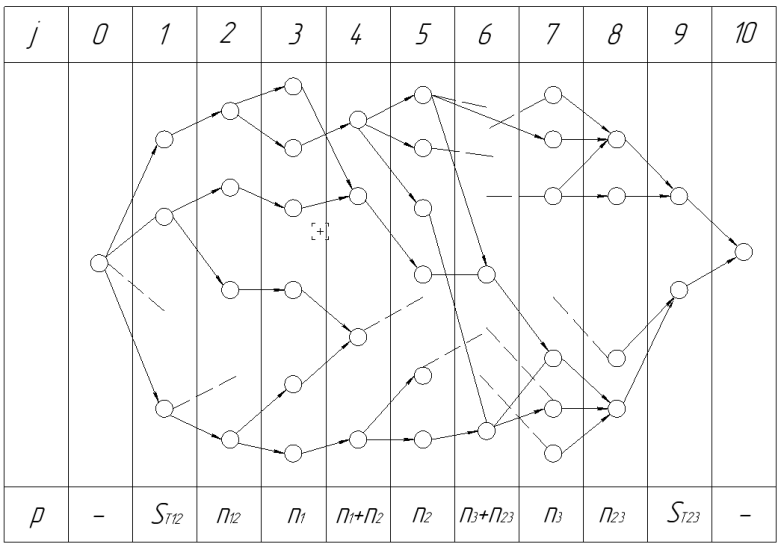


Рис. 1. Ориентированный граф

Если суммарная мощность генераторов, подключенных блоками с повышающими трансформаторами и автотрансформаторами связи к РУ 1, меньше максимальной нагрузки на этом напряжении, т. е. когда

$$(n_1^{'} + n_{12})S_{Г.НОМ} \le S_1^{'}, \tag{5}$$

номинальная мощность автотрансформаторов должна обеспечить передачу недостающей мощности от РУ 2 с учетом выхода из строя одного из генераторов или автотрансформаторов связи (в последнем случае вместе с генератором).

Мощность, которая может быть передана от РУ 2 к РУ 1, при двух автотрансформаторах:

$$S_{21} = S_{T12} - \frac{n_{12}}{k_{ВЫГ}} \cdot S_{Г.НОМ}, \tag{6}$$

где $k_{ВЫГ}$ – коэффициент выгодности автотрансформатора.

При отключении одного из автотрансформаторов:

$$S_{21} = S_{T12} - \frac{n_{12}}{2k_{ВЫГ}} \cdot S_{Г.НОМ}, \tag{7}$$

В первом случае и во втором случаях дефицит мощности в РУ 1 будет равен

$$\Delta S_1^{'} = S_1^{'} - (n_1^{'} + n_{12} - 1) \cdot S_{Г.НОМ} - S_{рез.1}, \tag{8}$$

$$\Delta S_1^{'} = S_1^{'} - (n_1^{'} + \frac{1}{2} n_{12}) \cdot S_{Г.НОМ} - S_{рез.1}. \quad (9)$$

Следовательно, должно быть соблюдено условие $S_{21} \geq \Delta S_1^{'}$, что после подстановки сюда значений S_{21} и $\Delta S_1^{'}$ из равенств (6)–(9) дает систему

$$n_1^{'} \geq \begin{cases} \dfrac{S_{1'}^{'} - S_{рез.1} - 2S_{T12}}{S_{Г.НОМ}} + n_{12}(\dfrac{1}{k_{ВЫГ}} - 1) + 1, \\ \dfrac{S_{1'}^{'} - S_{рез.1} - S_{T12}}{S_{Г.НОМ}} + \dfrac{1}{2} n_{12}(\dfrac{1}{k_{ВЫГ}} - 1). \end{cases} \quad (10)$$

Обозначая правые части последних неравенств N_1 и N_2, можем написать с учетом неравенства (5):

$$\frac{S_1^{'}}{S_{Г.НОМ}} - n_{12} \geq n_1^{'} \geq \max(N_1, N_2). \quad (11)$$

Когда мощность автотрансформаторов связи должна быть достаточной для выдачи избыточной мощности от РУ 1 к РУ 2 при минимуме нагрузки $S_1^{''}$:

$$(n_1^{''} + n_{12}) S_{Г.НОМ} \geq S_1^{'}. \quad (12)$$

Избыточная мощность в этом случае:

$$\Delta S_1^{''} = n_1^{''} S_{Г.НОМ} - S_1^{''}. \quad (13)$$

Мощность, которая может быть передана через автотрансформаторы от РУ 1 и РУ 2, при работе одного из них:

$$S_{12} = S_{T12} - \frac{1}{2} n_{12} S_{Г.НОМ.} \quad (14)$$

Из условия $S_{12} \geq \Delta S_1^{''}$ с учетом неравенства (12) следует:

$$\frac{S_1^{'}}{S_{Г.НОМ}} - n_{12} \leq n_1^{''} \leq \frac{S_1^{''} + S_{T12}}{S_{Г.НОМ}} - \frac{1}{2} n_{12}. \quad (15)$$

Двойные неравенства (11) и (15) при соблюдении условия (16):

$$0 \leq n_1 + n_{12} \leq n. \quad (16)$$

определяют соответствие значений n_1 найденным ранее значениям S_{T12} и n_{12}:

$$\{n\} = \{n_1^{'} \bigcup n_1^{''}\} = \Gamma_2(n_{12} S_{T12}). \quad (17)$$

В случае, когда одно из двойных неравенств (4) или (6) оказывается несовместимым:

$$\{n_1^{'}\} = \varnothing \text{ или } \{n_1^{''}\} = \varnothing .$$

Если же одновременно $\{n_1^{'} \bigcup n_1^{''}\} = \varnothing$ при всех значениях n_{12}, автотрансформатор данной мощности не может быть использован в рассматриваемой схеме.

Аналогично можно найти случай при дефиците генераторной мощности, присоединенной к РУ 3.

В табл. 1 представлены элементы, по которым определяются составляющие затрат.

Таблица 1

Элементы графа и их параметры

j	*p*	(*j*-1)-*j*	Элементы, по которым определяются составляющие затрат		
			Назначение	Капитальные вложения	Потери мощности и энергии
1	S_{T12}	0–1	Автотрансформаторы связи между РУ 1 и 2	Автотрансформаторы	Сталь
2	n_{12}	1–2		Ячейки РУ трансформаторов собственных нужд	Обмотки НН
3	n_1	2–3		–	Обмотки ВН и СН
4	$n_1 + n_{12}$	3–4	Блочные трансформаторы РУ 1	Трансформаторы, ячейки РУ	Сталь и обмотки
5		4–5	Блочные трансформаторы РУ 2	Трансформаторы, ячейки РУ	Сталь и обмотки
	n_2	5–6	–	–	–
6	$n_3 + n_{23}$	6–7	Блочные трансформаторы РУ 3	Трансформаторы, ячейки РУ	Сталь и обмотки
7	n_3	7–8	Автотрансформаторы связи между РУ 2 и 3	–	Обмотки ВН и СН
8	n_{23}	8–9		–	Обмотки НН
9	S_{T23}	9–10		Автотрансформаторы	Сталь

Приведенные капитальные вложения в силовое оборудование зависят от номинальных напряжения и мощности трансформаторов (автотранс-

форматоров) и являются неизменными, потери мощности и энергии в обмотках трансформаторов зависят от загрузки их и числа часов использования максимума нагрузки. Для блочных трансформаторов и обмоток НН автотрансформаторов связи загрузка зависит от мощности генератора, подключенного к ним.

Таким образом, перечисленные выше составляющие затрат при уже определенных их значениях для одного блока или автотрансформатора связи легко вычисляются, так как они находятся в прямой зависимости только от одной переменной – n_i, $n_{i,i+1}$ и S_i, $_{i,i+1}$.

Затраты на потери мощности и энергии в обмотках высшего и среднего напряжения автотрансформаторов связи зависят от перетоков мощности между РУ, т. е. являются функцией сразу трех величин:

$$З_{AT,B-C} = f(S_{Ti}, n_i, n_{i,i+1}). \qquad (18)$$

и поэтому должны быть вычислены для каждого сочетания значений n_i, $n_{i,i+1}$ и S_{Ti}, $n_{i,i+1}$.

В соответствии с равенствами (3), (4), (17) все рассмотренные значения составляющих затрат могут быть приписаны дугам графа на рис. 1, инцидентным вершинам, характеризующим тот или иной параметр схемы.

Для каждого параметра *p* в слое *j* для какого-то варианта *k* приведенные затраты $З_k$ определяются как

$$З_k = \sum_j З_{j,j+1}^{(p_k)}. \qquad (19)$$

Рассмотренные выше общие принципы формирования расчетной сети для определения варианта с минимальными приведенными затратами применимы и для других случаев (например, двух или четырех РУ).

Выводы

1. Варианты распределения генераторов между РУ различных напряжений электростанций могут быть представлены одной схемой, в которой генераторы присоединены ко всем РУ и трансформаторам связи. Количество генераторов, подключенных к тому или иному РУ или трансформатору связи, может принимать значения, равные нулю.

2. Поиск оптимального распределения генераторов при этом сводится к минимизации целевой функции приведенных затрат.

3. Сформулированная задача относится к задаче целочисленного программирования, решается построением диаграммы, с помощью которой находится путь минимальной длины.

Список источников

1. Мыслин Д. А. Оптимизация распределения генераторов между РУ различных напряжений на электростанциях. М. : Наука, 1980.

2. Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций, 1981.

3. Двоскин Л. И. Схемы электрических соединений мощных тепловых электростанций. М. : Госэнергоиздат, 1963.

4. Куценов Д. А., Погоняйченко И. Ю. Электрическая часть гидроэлектростанций : учеб. пособие. Красноярск : СФУ, 2007.

5. Залышкин М. Д. Выбор трансформаторов в энергетических системах. М. : Госэнергоиздат, 1960.

6. Рожкова Л. Д., Карнеева Л. К., Чиркова Т. В. Электрооборудование электрических станций и подстанций. М. : Академия, 2013.

7. Неклепаев Б. Н. Электрическая часть электростанций. М. : Энергоатомиздат, 1986.

8. Арис Р. Дискретное динамическое программирование. М. : ИД «Мир», 1969.

9. Алексеев В. Е., Захарова Д. В. Теория графов : учеб. пособие. Нижний Новгород : Нижегородский госуниверситет «Мир», 2017.

УДК 621.365

ВЫДЕЛЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ШЛАКОВОЙ ВАННЕ ТРЕХФАЗНОЙ ТРЕХЭЛЕКТРОДНОЙ ПЕЧИ ПРИ ПЕРЕПЛАВЕ ОТСЕВА ФЕРРОХРОМА

В. Д. Кочкин[1], А. И. Алиферов[2]

[1, 2]Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия
[2]alif@ngs.ru

Ферросплавы получают в восстановительных печах. После кристаллизации слиток ферросплава необходимо подготовить к дальнейшей продаже на рынке. Слитки проходят дробление и грохочение для получения кусковой фракции размером от 10 до 250 мм. Такой размер фракции определен дальнейшим применением ферросплава в технологии получения стали. При дроблении ферросплавов образуется до 20 % мелкой и пылевидной фракции от общей массы ферросплава [1]. Большую часть данных отходов составляет пыль [2], что видно на рис. 1 на примере ферросиликомарганца и ферромарганца.

Ферромарганец, феррохром, ферросилиций и ферросиликомарганец относятся к «большим» ферросплавам и являются основной долей производимых ферросплавов [3], объем производства которых исчисляется десятками тысяч тонн в год. В связи с этим количество образуемого отсева также достигает несколько сотен тысяч тонн в год. Получаемые отсевы хранятся на складах из-за сложности их переработки, хоть и являются готовым продуктом. Их хранение приносит вред окружающей среде и обслуживающему персоналу. Кроме этого, взаимодействуя с влагой воздуха, качество ферросплава как товара ухудшается.

Одним из методов переплава отсева может быть плавка в индукционных тигельных печах. Переплав отсева в таких печах трудноосуществим на твердой шихте и требует применения источников питания высокой частоты [4], но может быть реализован при плавке с остаточной емкостью, но такая технология мала производительна. Индукционные тигельные печи имеют меньшую производительность, чем дуговые, в силу их меньшей емкостей. Применение же для переплава отсева дуговых установок приводит к значительным потерям его мелкодисперсной фазы [6].

© Кочкин В. Д., Алиферов А. И., 2024

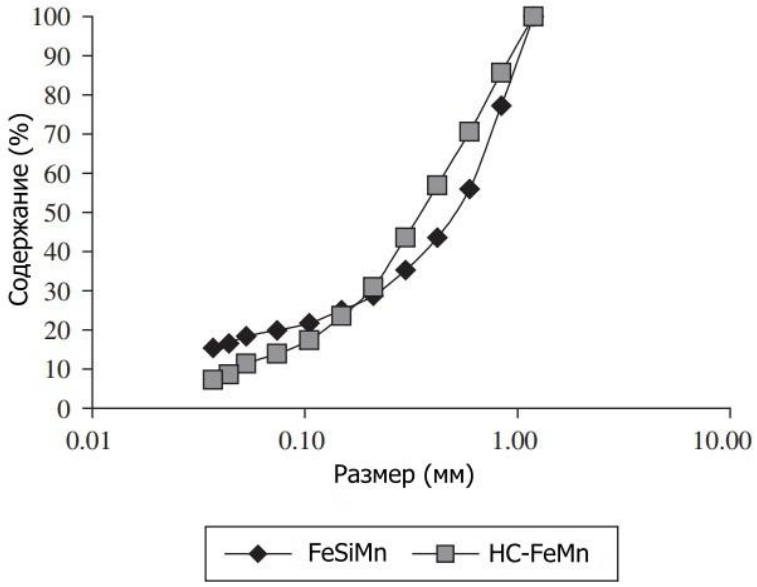


Рис. 1. Размер частиц и процентное соотношение для отсевов фракцией менее 10 мм

Решением задачи организации высокопроизводительного переплава отсева ферросплавов может быть трехфазная трехэлектродная печь, работающая в режиме шлакового переплава. Данный метод обеспечивает минимальные потери мелкодисперсного отсева ферросплавного производства. В этом случае выделение тепла происходит за счет протекания переменного тока промышленной частоты по объему шлака. В отличие от дугового режима переплава, шлаковый дает следующие преимущества: снижение угара мелкодисперсных отходов, уменьшение газообразования и, следовательно, улет пылевой составляющей отсева, более равномерное распределение активной мощности по объему ванны печи, отсутствие скачков тока, снижение шума и улучшение условий работы персонала.

Такая электропечь представляет собой цилиндрическую футерованную ванну, в которой наводится (или заливается в нее) расплавленный шлак. Нагрев шлака выполняется пропускаемым по нему переменным трехфазным током промышленной частоты, подводимого к расплаву шлака сверху через футерованную крышку посредством трех графитированных электродов, расположенных по вершинам равностороннего треугольника. Отсев ферросплава подается сверху через свод печи в расплавленный шлак и, расплавляясь, накапливается на подине печи. В этом случае получается двухслойная электропроводная система (верхний слой расплав шлака, нижний – расплавленный металл), в которой удельное сопротивление шлака примерно в 1 000 раз больше удельного сопротивления расплава ферросплава. От того, на сколько заглублены в шлак три графитированных электрода, каков их диаметр и диаметр распада электродов (т. е. диаметр окружности, на которой расположены вертикальные оси электродов), зави-

сит уровень и объемное распределение активной мощности, выделяемой в шлаковой ванне. От этих параметров зависит режим плавления отсева ферросплава в расплаве шлака.

Для исследования этих энергетических характеристик технологического процесса шлакового переплава отсева ферросплава в программном пакете Comsol была разработана трехмерная модель электромагнитных процессов, протекающих в ванне печи.

На рис. 2 представлена трехмерная геометрическая модель ванны печи. Она представляет собой трехфазную трехэлектродную печь. Ванна является двухуровневой. В верхней части ванны расположен шлак *1*, в который на глубину $h_э$ погружены электроды *2*. Отсев через труботечки попадает в плавильное пространство печи в центр и вокруг электродов. Шлак, нагреваемый протекающим через него током, отдает тепло частицам отсева, расплавляя их. Капли расплавленного ферросплава проходят через шлак и оседают на дно ванны *3*.

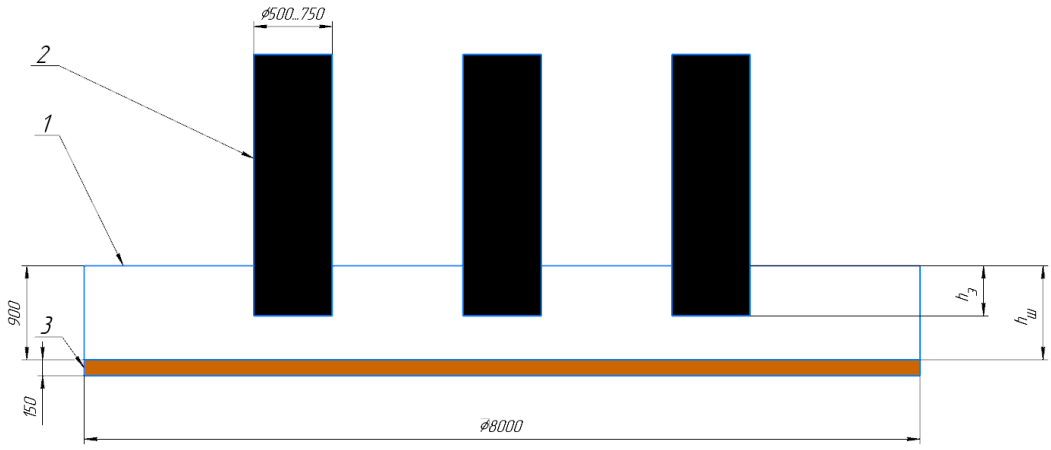


Рис. 2. Расчетная схема шлаковой ванны
для переплава отсевов ферросплавов

Посредством численной модели были получены зависимости выделения мощности в шлаке при различных геометрических конфигурациях: заглублении электродов в шлак $h_э$ (расстояние от торца электрода до зеркала расплава шлака), диаметре электродов $d_э$ и диаметре распада электродов $d_{рэ}$ (табл. 1).

На рис. 3 представлены графики выделения мощности в шлаковой ванне в зависимости от отношения диаметра распада электродов к диаметру электрода $d_{рэ}/d_э$ при одинаковом заглублении электрода в шлак. На рис. 4 представлены зависимости выделения мощностив шлаковой ванне от отношения заглубления электрода к высоте шлака $h_э/h_ш$.

Изменение геометрических параметров влияет на выделение мощности в шлаковой ванне печи и на ее распределение. При приближении торца электрода к металлическому расплаву выделение мощности происходит

под электродами и область максимального выделения мощности вытягивается до расплава металла. Это связано с тем, что большая часть тока замыкается через металлическую ванную, протекая по объему шлака под электродами. Уменьшение соотношения $h_э/h_ш$ приводит к перераспределению путей тока в ванне электропечи, смещая области выделения мощности. При приближении торца электрода к зеркалу шлакового расплава выделение мощности смещается в верхнюю ее часть, а также падает мощность, выделяемая в объеме ванны.

Так как общее электрическое сопротивление ванны складывается из нескольких составляющих, а именно сопротивления между двумя электродами через шлак и по пути через металлическую ванну, то при неизменном диаметре распада электродов и других геометрических размеров ванны заглубление электродов напрямую влияет на общее сопротивление [7, 8].

Таблица 1

Значения удельного электросопротивления элементов численной модели

Материал	Удельное электрическое сопротивление, Ом·м
Графитированный электрод	$8 \cdot 10^{-6}$
Шлак	$1{,}21 \cdot 10^{-2}$
Феррохром ФХН900Б	$90 \cdot 10^{-6}$
Воздух	$1{,}0 \cdot 10^{30}$

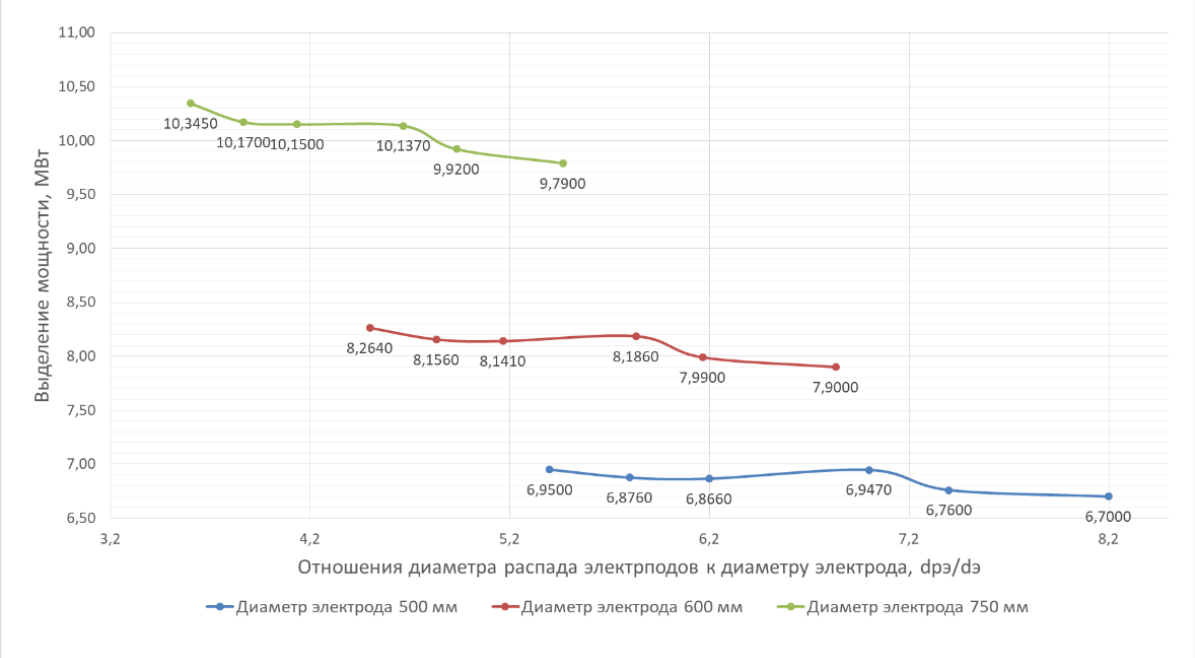


Рис. 3. Выделение мощности в шлаковой ванне электропечи в зависимости от отношения диаметра распада электродов к диаметру электрода $d_{рэ}/d_э$

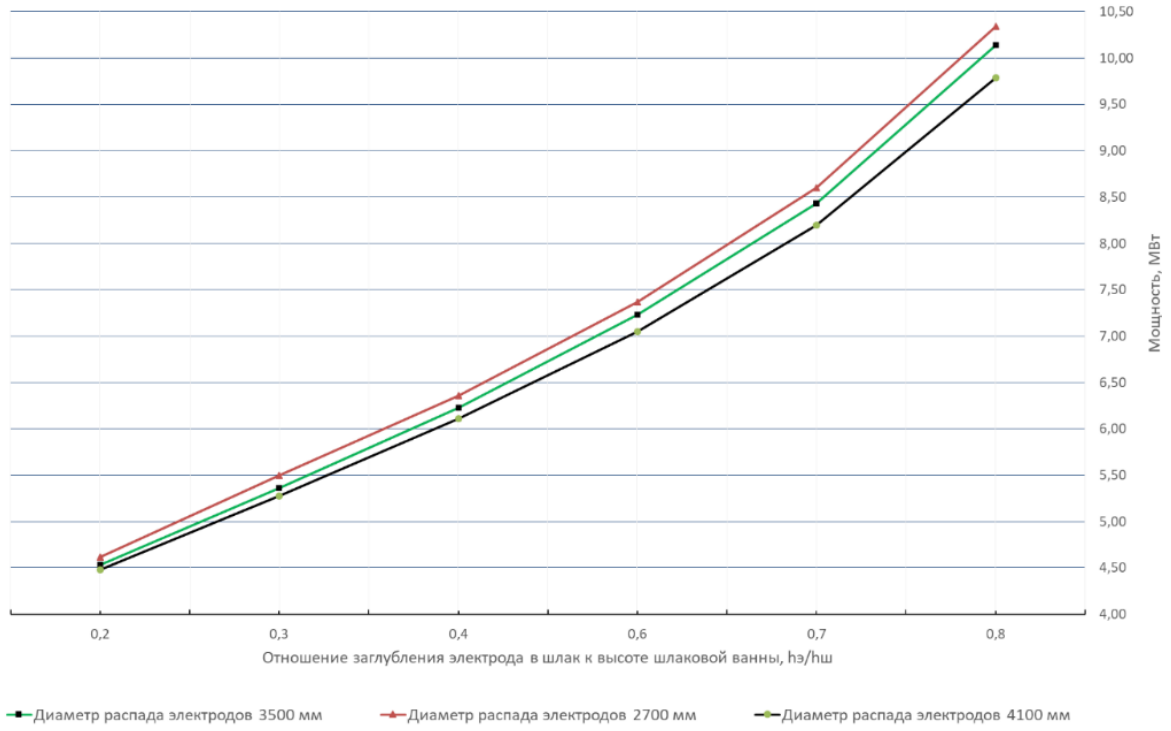


Рис. 4. Выделение мощности в шлаковой ванне электропечи в зависимости от отношения заглубления электрода к высоте шлака $h_э/h_ш$

Изменение распада электрода приводит также к изменению электрического сопротивления между электродами. Увеличение распада приводит к увеличению электрического сопротивления между электродами, тем самым приводя и к увеличению общего сопротивления ванны электропечи.

Список источников

1. Cherednichenko M. V., Zuev S. P. (2019). Ferroalloy industry waste processing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 560 (2019) 012134

2. G. Lucio de Faria, F. Gabriel da Silva Araujo, C. Batista Vieira, F. Leopoldo von Kruger, N. Jannotti Jr. (2008). Characterization of Manganese Alloy Residues for the Recycling ofFeSiMn and High-Carbon FeMn fines. Materials Research, Vol. 11, No. 4. Pp. 405–408.

3. Курапин И. Н., Курапина М. Н. Рудно-термические электропечи. Новосибирск : Новосиб. гос. техн. ун-т, 1994. 173 с. ISBN 5-230-120028-2

4. Schmitz W., Trauzeddel D. (2013). Latest Developments in Recycling Production Residues Employing Coreless Induction Furnaces. European Metallurgical Conference (Weimer, Germany, June 23-26 2013). pp. 807-820.

5. Kutsin V. S., Olshansky V. I., Filippov I. Yu., Chumakov A. A., Ganotsky V. G. (2015). The development and introduction of resource saving technology of non-standard manganese ferroalloy fines recycling // Infacon XIV:

Energy efficiency and environmental friendliness are the future of the global Ferroalloy industry. Kiev, 2015. P. 745–749.

6. Кочкин В. Д., Золотарев В. В. Методы и установки утилизации мелкодисперсных отсевов ферросплавов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. 2023. Т. 31, № 1. С. 91–102.

7. Струнский Б. М. Руднотермические плавильные печи. М. : Металлургия, 1972. 368 с.

8. Лакерник М. М. Электротермия в металлургии меди, свинца, цинка. М. : Металлургия, 1971. 296 с.

УДК 621.311

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ЛИНИЯХ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПУТЕМ АДАПТИВНОГО ОДНОФАЗНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ

Т. Г. Красильникова[1], К. А. Махмудов[2]

[1, 2]Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск, Россия
[2]mahmudovkaromat@gmail.com

Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения (СВН) 500, 750 кВ обеспечивают межсистемную связь в единой энергосистеме. Дальние электропередачи, как и другие элементы энергосистемы, подвержены различным повреждениям, в частности однофазным коротким замыканиям, составляющим до 90 % от общего количества аварий [1].

Отключение линии СВН сильно влияет на режим работы энергосистемы в целом не только с экономической точки зрения, но и с точки зрения надежности. Использование однофазного автоматического повторного включения (ОАПВ) в линиях сверхвысокого напряжения является эффективной мерой для повышения надежности. После отключения линии устройство автоматического повторного включения (АПВ), выдавая сигнал на включение выключателя, через некоторое время, называемое бестоковой паузой, включает ее повторно [2]. Бестоковая пауза ОАПВ, рекомендуемая на основе экспериментальных данных, выбирается из условий гашения вторичной дуги подпитки и последующей деионизации дугового промежутка [1]. Однако истинное время гашения дуги зачастую бывает намного меньше выбранного на основе экспериментальной кривой.

Однако, если найти способ определения момента погасания дуги подпитки, то можно минимизировать бестоковую паузу ОАПВ для данной аварии, связанной с ОКЗ на линии. Для достижения этой цели необходимо фиксировать определённые признаки факта самоликвидации повреждения на отключённой фазе или устойчивого характера повреждения.

Это возможно осуществить с помощью адаптивного АПВ, принцип действия которого основывается на том, что во время бестоковой паузы осуществляется контроль состояния поврежденной линии (фазы) с помощью специальных средств. Повторное включение разрешается только при

© Красильникова Т. Г., Махмудов К. А., 2024

устранении короткого замыкания в течение некоторого заданного интервала времени.

В настоящее время исследователями предлагаются различные варианты осуществления адаптивного ОАВП. Например, в [3] рассматривается новая схема, использующая дифференциальный ток между расчетным током, основанным на модели переходного КЗ, и фактическим измеренным током от фазы КЗ шунтирующего реактора. Согласно результатам моделирования предложенный в работе алгоритм может правильно и надежно идентифицировать устойчивое повреждение.

В [4] анализируется характеристика восстанавливающегося напряжения при однофазном замыкании на землю в линии электропередачи сверхвысокого напряжения с шунтирующим реактором. Авторами предлагается новый метод, основанный на спектре мощности, назначением которого является идентификация устойчивых и неустойчивых аварий. Для повышения адаптивности предлагается новая схема АПВ, применяемая к параллельным линиям электропередачи с шунтирующими реакторами [5].

В данной статье предлагается способ усовершенствования адаптивного ОАПВ, который отличается простотой и позволяет с высокой степенью надёжности идентифицировать все возможные случаи.

Описание способа усовершенствования адаптивного ОАПВ

Поставленная задача достигается тем, что в данном способе путём предварительных расчётов токов аварийной фазы определяют на линии две зоны, примыкающие к соответствующим системам, и осуществляют кратковременное одностороннее включение аварийной фазы со стороны системы 1, если ОКЗ обнаружено во второй зоне, примыкающей к системе 2, и соответственно одностороннее включение аварийной фазы происходит со стороны системы 2, если ОКЗ обнаружено в зоне 1, примыкающей к системе 1. Далее измеряют действующее значение тока аварийной фазы на включенном конце и сравнивают с заданной уставкой. Если ток выше уставки, то на фазе фиксируют короткое или дуговое замыкание и далее дают команду на отключение.

На рис. 1 приведена структурная схема, иллюстрирующая предлагаемый способ при аварии в зоне 2. Схема содержит примыкающие системы 1 и 2, подсоединенные к линии 3 с помощью выключателей 4 и 5. На любой из фаз линии 3 возможно возникновение повреждения 6, в качестве которого рассматривается однофазное короткое замыкание.

Способ осуществляется следующим образом. Двусторонне отключенная аварийная фаза 3 может находиться в одном из трёх состояний. При сопротивлении повреждения 6 $R_{ав} = R_{окз} < 10$ Ом имеет место неустранившееся однофазное короткое замыкание (ОКЗ), при $R_{ав} = R_{д} > 10$ Ом имеет место дуговое замыкание и при $R_{ав} \to \infty$ повреждение на фазе отсутствует. В последнем случае, как уже отмечалось, нет полной гарантии, что ОАПВ

будет успешным. Поэтому двусторонне отключенную аварийную фазу 3 включают односторонне выключателем 5 со стороны системы 1, если авария обнаружена в зоне 2 (аварийная фаза односторонне включается выключателем 4, если авария обнаружена в зоне 1), измеряют действующее значение тока этой фазы на включенном конце $I_{ав}$ и сравнивают с заданной уставкой $I_{уст}$. Если измеренный ток выше уставки $I_{ав} > I_{уст}$, то на фазе имеется короткое или дуговое замыкание, и дается команда на отключение линии. В противном случае замыкание на фазе отсутствует, и она успешно включается с другой стороны. Заданная уставка по току выбирается из условия отстройки от наибольшего тока I_{max}, определяемого на односторонне включенном конце фазы при отсутствии повреждения. На рис. 2 представлена блок-схема описанного выше способа.

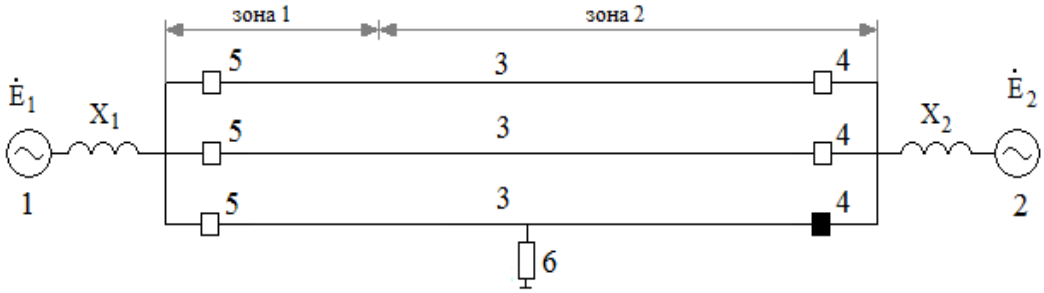


Рис. 1. Структурная схема

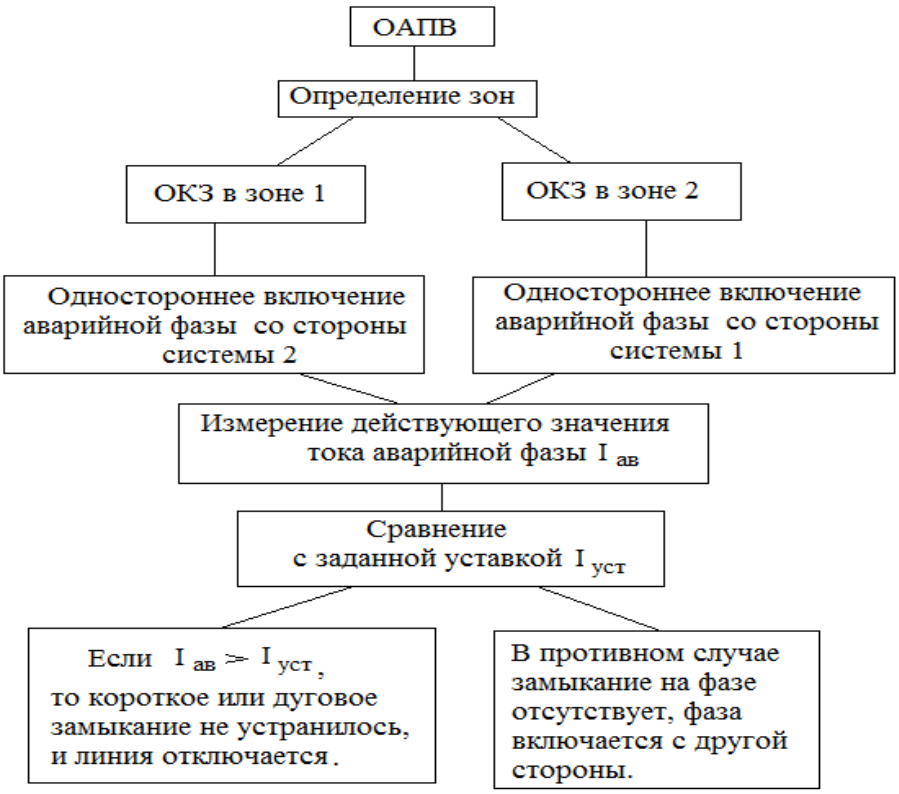


Рис. 2. Блок-схема способа

Для линий напряжением 500 кВ при длине 500 км уставка по току составляет не более 250 А, в то время как возможный диапазон токов на включенном конце аварийной фазы при наличии ОКЗ или дуги составляет не менее 800 А, что более чем в три раза превосходит уставку. Таким образом, имеет место надежная гарантия идентификации повреждения.

Сравнение токов ОКЗ, воздействующих на примыкающие системы, в исходной схеме и при неуспешном одностороннем включении аварийной фазы

На рис. 3 приведены зависимости аварийных токов при $R_{ав} = R_{окз}$, воздействующих на системы, от места аварии на линии x при одностороннем включении аварийной фазы со стороны системы 1 (кривая I_1) и соответственно со стороны системы 2 (кривая I_2) для схемы напряжением 500 кВ. Для расчетов были взяты следующие параметры: длина линии 500 км, сопротивления прямой (обратной) и нулевой последовательности систем 1 и 2 соответственно X_1=60 Ом, X_{10}=30 Ом, X_2=20 Ом, X_{20}=20 Ом. E_1 и E_2 – ЭДС систем 1 и 2, I_1 – ток в аварийной фазе при включении со стороны системы 1, I_2 – ток в аварийной фазе при включении со стороны системы 2.

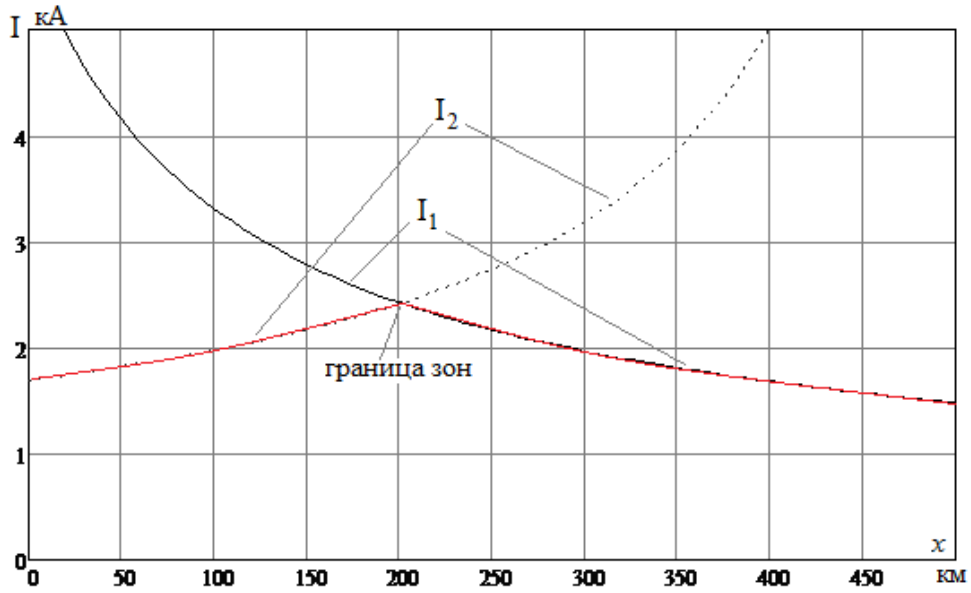


Рис. 3. Зависимости аварийных токов, воздействующих на системы, от места аварии на линии при одностороннем включении аварийной фазы со стороны системы 1 (кривая I_1) и со стороны системы 2 (кривая I_2)

Рассмотрим, насколько безопасны будут токи, воздействующие на примыкающие системы, при одностороннем включении при наличии на аварийной фазе неустранившегося ОКЗ. Как следует из рис. 3, ток, воздействующий на систему 1 при одностороннем включении с её стороны

при наличии на аварийной фазе ОКЗ, находится в диапазоне 1,48–2,42 кА. Соответственно ток, воздействующий на систему 2 при одностороннем включении с её стороны при наличии на аварийной фазе ОКЗ, находится в диапазоне 1,69–2,42 кА. Приведённые токи существенно меньше токов, воздействующих на системы при первоначальном однофазном КЗ в исходной схеме на рис. 4.

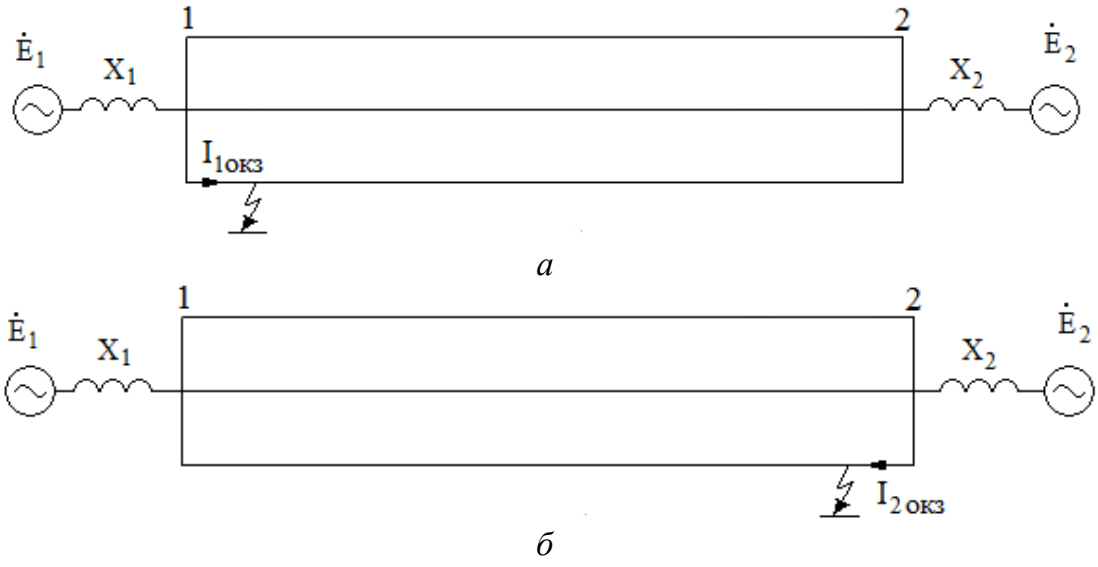


Рис. 4. Исходная схема для оценки токов ОКЗ:
а – для системы 1; *б* – для системы 2

Действительно, как показали расчеты, ток ОКЗ для системы 1 составляет 5,6 кА, а для системы 2 – 14,5 кА. Таким образом, предлагаемый способ не представляет опасности для оборудования, если ОКЗ сохраняется на линии.

Выводы

1. Предложенный способ усовершенствования адаптивного ОАПВ позволяет надёжно идентифицировать однофазное короткое или дуговое замыкание в линиях сверхвысокого напряжения 500 и 750 кВ.

2. Токи, воздействующие на примыкающие системы при одностороннем включении при наличии на аварийной фазе однофазного короткого замыкания, как минимум в два раза меньше токов, возникающих в системах при первоначальном однофазном коротком замыкании в исходной схеме. Таким образом, предлагаемый способ адаптивного ОАПВ не представляет опасности для оборудования, если ОКЗ сохраняется на линии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке в рамках реализации программы развития Новосибирского государственного технического университета (НГТУ), научный проект № С23-28.

Список источников

1. Процессы при однофазном автоматическом повторном включении линий высоких напряжений / под ред. М. Л. Левинштейна. М. : Энергоатом издат, 1991.

2. Xie C., Li F. Adaptive Comprehensive Auto-Reclosing Scheme for Shunt Reactors-Compensated Transmission Lines» 2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Power System Automation and Protection (APAP), 2019, pp. 1759–1763.

3. Suonan J., Shao W., Song G., Jiao Z. A Novel Single-Phase Adaptive Reclosure Scheme for Transmission Lines with Shunt Reactors» IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 24, No. 2, April 2009.

4. Jizhong Zhu, Niancheng Zhou Analysis of the fault type for adaptive single-phase autoreclosure,» 2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting, 2015, pp. 1-5.

5. Da. Lin, H. Wang, D. Lin, and B. He. An Adaptive Reclosure Scheme for Parallel Transmision Lines with Shunt Reactors // IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 30, No.6, December 2015.

УДК 621.3

АНАЛИЗ УПРАВЛЕНИЯ НАГРУЗКОЙ МЕЛКОМОТОРНЫХ АКТИВНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В РАМКАХ ЗАДАЧ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

О. С. Кузнецова[1], В. В. Ханаев[2]

[1, 2] Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН, Иркутск, Россия
[1]oliv.smith@bk.ru

В настоящий момент в России широко обсуждается возможность введения социальных норм потребления электроэнергии, следствием которого станет дефицит дешевой электроэнергии на территории частных домохозяйств. Также рассматривается возможность выравнивания тарифов и уход от льготного положения в области электроснабжения, что также негативно повлияет на частный сектор, который, благодаря низким ценам на электроэнергию, максимально использует ресурсы электроснабжения для различных целей, в частности электроотопления. Отдельно следует отметить по-прежнему существующие проблемы с газификацией. В частности, население Иркутской области, являющейся одним из основных поставщиков газа, не имеет доступа к этому ресурсу и вынуждено использовать для обогрева электроэнергию. Любые изменения в этой области могут стать катастрофическими для большей части домохозяйств [1].

Одним из наилучших решений для предотвращения возможного дефицита электроэнергии является само покрытие нужд электрификации, например, посредством размещения на территориях частных домовых хозяйств комплексов солнечных электростанций (СЭС), что сможет компенсировать недостаток «централизованной» электроэнергии. Так, для регионов России, в которых тарифы на электроэнергию делают использование СЭС частным сектором экономически целесообразным, данное решение может улучшить не только экологическое положение, но и поможет установить баланс в режимах потребления.

Наибольшими инсоляционными показателями и относительно высокой продолжительностью светового дня обладает Иркутская область, что теоретически позволяет более эффективную эксплуатацию СЭС. Таким образом, для данных областей одним из решений в сфере генерации электроэнергии для частных домовых хозяйств могут стать солнечные электростанции.

© Кузнецова О. С., Ханаев В. В., 2024

Если при планировании инфраструктурных изменений учесть инсоляционные данные, то можно достичь значительного прироста генерирующей мощности непосредственно у потребителей. Анализ потенциальной эффективности, разработка и модернизация СЭС в будущем может привести к увеличению их числа на территории регионов, что позволит уменьшить негативные проявления генерации электроэнергии при ее постоянно возрастающих значениях.

Рассмотрим перспективы применения СЭС на примере Иркутской области.

Электроэнергетическая система Иркутской области входит в состав объединенной электроэнергетической системы (ОЭС) Сибири и является одной из крупнейших энергосистем России и характеризуется высокой степенью централизации. Удельный вес Иркутской области в структуре производства электрической энергии в Сибирском федеральном округе составляет около 30 %. В расчете на одного жителя в Иркутской области производится в три раза больше электроэнергии, чем в среднем по стране.

Основной особенностью Иркутской области является наличие на территории крупных гидроэлектростанций, установленная мощность которых (9,088 ГВт) составляет 3,7 % от мощности всех электростанций страны (245,313 ГВт – без учёта источников в изолированных территориях).

Большая доля генерирующих мощностей Иркутской области приходится на ГЭС – 69,69 % (ООО «ЕвроСибЭнергоГидрогенерация» – 69,03 %; АО «Мамаканская ГЭС» – 0,66 %).

Доля генерирующих мощностей, приходящаяся на ТЭС, составляет 30,31 % (ООО «Байкальская энергетическая компания» – 29,01 %, ООО «Теплоснабжение» – 0,18 %, станции промышленных предприятий – 1,12 %).

Электростанциями Иркутской области в 2021 г. было выработано 59,69 млрд кВт·ч электроэнергии (24,96 тыс. кВт·ч на душу населения) в т. ч. ГЭС – 47,68 млрд кВт·ч, ТЭС – 12,01 млрд кВт·ч, в т. ч. электростанции промышленных предприятий – 0,91 млрд. кВт·ч.

Электросетевой комплекс Иркутской области в переводе на одноцепное исполнение представляет собой 72,3 тыс. км воздушных и кабельных линий электропередачи, 16 213 трансформаторных подстанций номиналом от 0,4 до 500 кВ, всего 410 924 условных единиц оборудования.

Эксплуатацию всех сетей с установлением соответствующих индивидуальных тарифов в 2022 г. осуществляет 25 территориальных сетевых организаций. Отдаленные изолированные потребители снабжаются электроэнергией от децентрализованных энергосистем на базе электростанций. В рамках государственной программы Иркутской области «Развитие жилищно-коммунального хозяйства и повышение энергоэффективности Иркутской области» на территории региона реализуются проекты по строительству возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ).

Изменения электропотребления на территории Иркутской области за пятилетний период имеет выраженную тенденцию к увеличению. В значительной мере влияние на уровень электропотребления оказывает температура наружного воздуха, а также уровень электропотребления промышленных предприятий, что в географический условиях Сибири также приводит к необходимости проведения дополнительных расчетных манипуляций. Минимальное значение электропотребления наблюдалось в 2016 г., что обусловлено повышением среднемесячных температур в осенне-зимний период. На снижении электропотребления сказалось сокращение объемов промышленного производства и жилищного строительства, а также повышение средней за отопительный период температуры воздуха в регионе. Кроме того, негативное влияние кризиса, сокращение металлургического производства, прежде всего электроемкого производства алюминия, являющегося важнейшим видом экономической деятельности на территории Сибири.

Исходя из динамики потребления электроэнергии, можно сделать вывод о постоянном увеличении расхода электроэнергии и скачкообразном характере изменения темпа среднегодового объёма потребления.

С 2018 г. происходит непрерывное увеличение электропотребления, что обусловлено ростом промышленного производства – вводом новых НПС (нефтеперекачивающих станций) и увеличением электропотребления за счёт роста объёмов железнодорожных перевозок.



Рис. 1. Структура электропотребления Иркутской области, 2020 г.

Представлена структурная диаграмма (рис. 1) электропотребления Иркутской области за 2022 г., последний год, представленный на сайте Федеральной службы государственной статистики. Как наглядно показано на диаграмме, основная доля от общего объёма потребления в 2022 г. приходится на промышленность (обрабатывающие производства – 53,5 %, добыча полезных ископаемых – 2,02 %, производство и распределение электроэнергии, газа и воды – 9,34 %). Наиболее электроемким производством в Иркутской области остается цветная металлургия (производство алюми-

ния). Динамические изменения собственного максимума потребления мощности электростанций Иркутской области за пятилетний период представлены в табл. 1.

Таблица 1

Динамика изменения собственного максимума потребления мощности электростанций за последние пять лет

Показатель	Годы				
	2018	2019	2020	2021	2022
Собственный максимум потребления мощности, МВт	8 210,5	8 196,20	8 325,80	8 753,4	9 111
Абсолютный прирост максимума потребления мощности, МВт	537,50	–14,30	129,60	427,6	357,6
Среднегодовые темпы прироста, %	7,01	–0,17	1,58	5,02	3,73

Таким образом, анализируя данные Росстата, можно сделать вывод о том, что потребление мощности в энергосистеме Иркутской области за последний год возросло на 129,60 МВт (1,58 %) по сравнению с предыдущим годом.

Можно сделать вывод о стабильном среднегодовом приросте начиная с 2020 г., а также о стабильном увеличении показателя собственного максимума потребления мощности.

Энергосистема нуждается в более маневренных и экономичных генерирующих мощностях, в сохранении и расширении сбыта своей продукции. Следует рассмотреть более детально необходимость соединения интересов домовых хозяйств и энергосистемы, в т. ч. в совместной деятельности, направленной на использование потенциала солнечных энергоресурсов в генерации электроэнергии для увеличения эффективности и улучшения процессов управления нагрузками.

Несмотря на высокий уровень централизации, в производстве электроэнергии на данный момент наблюдается тенденции стабильного роста количества частных объектов электрогенерации. Прямым следствием этого является повышенный интерес к различным накопительным агрегатам, способствующим повышению продуктивности и эффективности использования СЭС в условиях регламентации и контроля норм потребления электроэнергии, обуславливающих её недоступность для частных домовых хозяйств.

Если учесть полученные инсоляционные данные при планировании инфраструктурных изменений в сфере строительства и получения электроэнергии, можно достичь значительного прироста генерирующей мощности непосредственно для потребителей. Анализ потенциальной эффективности, разработка и модернизация СЭС в будущем могут привезти к увели-

чению числа СЭС на территории региона, что позволит уменьшить негативные проявления генерации электроэнергии при ее постоянно возрастающих значениях.

Однако одной из основных проблем остается высокая себестоимость выработанной электроэнергии, самих солнечных электростанций и их эксплуатации. А необходимость аккумулирования электроэнергии из-за неустойчивости показателей приходящей солнечной энергии также вызывает ряд проблем при эксплуатации СЭС.

Вывод

Современная концепция развития электроэнергетики предусматривает активное участие потребителей на всех стадиях технологического процесса производства, передачи и непосредственно потребления электроэнергии. Тем самым потребители уходят от позиции простого, «пассивного» потребления и приобретают «активный» статус, т. е. получают возможность активно изменять свою нагрузку и оказывать влияние на централизованную генерацию.

Проанализированы возможности и характеристические данные структуры производства, динамики потребления и изменения собственного максимума нагрузки энергосистемы Иркутской области, а также возможность использования дополнительных источников генерирующих мощностей, влияющих на управление нагрузкой в рамках задачи распределённой генерации.

Из графика динамики потребления электроэнергии энергосистем можно сделать вывод о постоянном увеличении расхода электроэнергии и скачкообразном характере изменении темпа среднегодового объёма потребления.

Исходя из полученных и проанализированных данных можно сделать вывод о стабильном среднегодовом приросте с 2020 г., а также о стабильном увеличении показателя собственного максимума потребления мощности.

Можно выделить две возможности повышения «активности» потребителей – через развитие собственной, распределённой, генерации и через реализацию мероприятий по управлению спросом на электрическую энергию. Совместное управление мероприятиями по управлению спросом и распределённой генерации можно осуществлять с помощью «виртуальной» электростанции, где управление спросом может быть представлено в виде условной «отрицательной генерации» и рассматриваться наряду с традиционными генерирующими мощностями распределённой или централизованной генерации, а также появляется возможность использования дополнительных источников электроэнергии. В свою очередь, перспективное планирование развития электроэнергетических систем с учетом управ-

ления нагрузкой, как одной из форм дополнения к распределённой генерации, позволяет: позволяет:

– сократить инвестиционные риски в развитие электроэнергетической отрасли;

– улучшить процесс прогнозирования управление нагрузкой мелкомоторных активных потребителей.

Список источников

1. Kuznetsova O. S., Khanaev V. V. Prospects for the use of solar energy in the Ir-kutsk Region and the Republic of Buryatia [Electronic resource] // Access mode https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128905002 (accessed: 08/25/2021).

2. Sednin V. A., Sednin A. V., Bogdanovich M. L. The possibility of using energy complexes of industrial enterprises to cover peak electrical loads // Energy and management. 2009. No. 1. P. 6–10.

3. Smirnov S. S. Method for determining the actual contributions of the network and the consumer to the coefficients of the higher harmonics of the node voltage // Electricity. 2005. No. 10. P. 54–61.

4. Gitelman L. D., Ratnikov B. E., Kozhevnikov M. V. Demand management – a universal method for solving modern problems of power supply // Energy market. 2012. No. 5. P. 44–49.

5. Finamore B., Zhaoguang H., Weizheng l. et al. Demand-side mangement in Chi-na. Benefits, barriers, and policy recommendations / Natural Resources Defense Council. [S. l.,] 2003. 86 p. URL: http://www.nrdc.org/air/energy/chinadocs/dsm.pdf.

6. Map of solar radiation flux // Scientific electronic library [Electronic resource]. Access mode: https://monographies.ru/ru/book/section?Id=16296.

7. Map of sunshine duration // Scientific electronic library [Electronic resource]. Ac-cess mode: https://monographies.ru/ru/book/section?Id=16296.

8. Value of solar insolation in Irkutsk (Irkutsk region) // Scientific electronic library [Elec-tronic resource]. Access mode: https://www.beta energy.ru/insolation/irkutsk.

УДК 669

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПЕРЕМЕШИВАТЕЛЯ В ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ КОСВЕННОГО НАГРЕВА

А. А. Максимов[1], М. Ю. Хацаюк[2], С. Лупи[3]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[3] Университет Падуи, Падуя, Италия
[1]almaksimov@sfu-kras.ru

Введение

Естественное перемешивание расплава металла в индукционной печи с непроводящим тиглем является достаточным для выполнения большинства металлургических задач. Это относится к индукционным тигельным печам, эксплуатируемым на промышленной и средней частоте. При повышении частоты тока интенсивность перемешивания падает. Однако в индукционных печах с проводящим тиглем не возникает течения расплава металла, по этой причине для приготовления сплавов металла перемешивание выполняется механическим способом. При таком способе перемешивающее устройство контактирует с расплавом металла, что может привести к нарушению химического состава приготавливаемого сплава [1, 2].

Одним из способов создания вынужденной и контролируемой циркуляции в индукционных тигельных печах является применение дополнительных устройств электромагнитного перемешивания. Образование сложнохарактерных потоков оказывает положительный эффект в процессе плавления, рафинирования и легирования.

В данной работе смоделировано применение электромагнитного перемешивателя в тигельной печи косвенного нагрева.

Постановка задачи

На рис. 1 представлена геометрия численной модели электромагнитной задачи в программе ANSYSElectromagnetics.

Применяется трехфазный явнополюсный индуктор (рис. 1, 2) [3]. Средняя величина немагнитного зазора составляет 0,105 м. В качестве расплава металла выбран алюминий, удельная проводимость которого $3{,}367 \cdot 10^6$ См/м.

© Максимов А. А., Хацаюк М. Ю., Лупи С., 2024

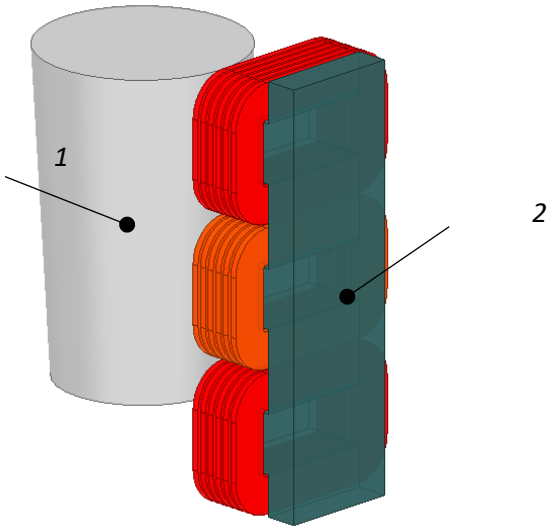


Рис. 1. Геометрия численной модели: *1* – расплав алюминия;
2 – электромагнитный перемешиватель

Гидродинамический расчет выполнен в нестационарной постановке. Модель турбулентности SST. Плотность алюминия – 2 300 кг/м^3. Динамическая вязкость – 0,00129 кг/(м·с). Теплопроводность – 120 Вт/(м·К).

Для качественной оценки перемешивания вдоль оси тигля были расположены три маркера (начальное распределение показано на рис. 2), динамика перемещения и диффузии которых иллюстрирует характер и интенсивность перемешивания соответствующей зоны.

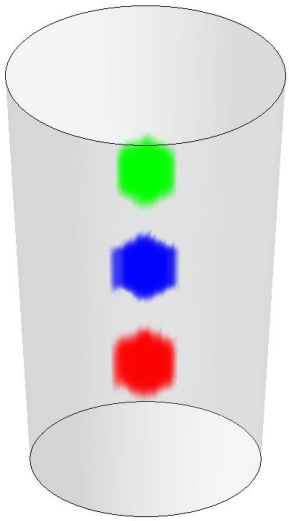


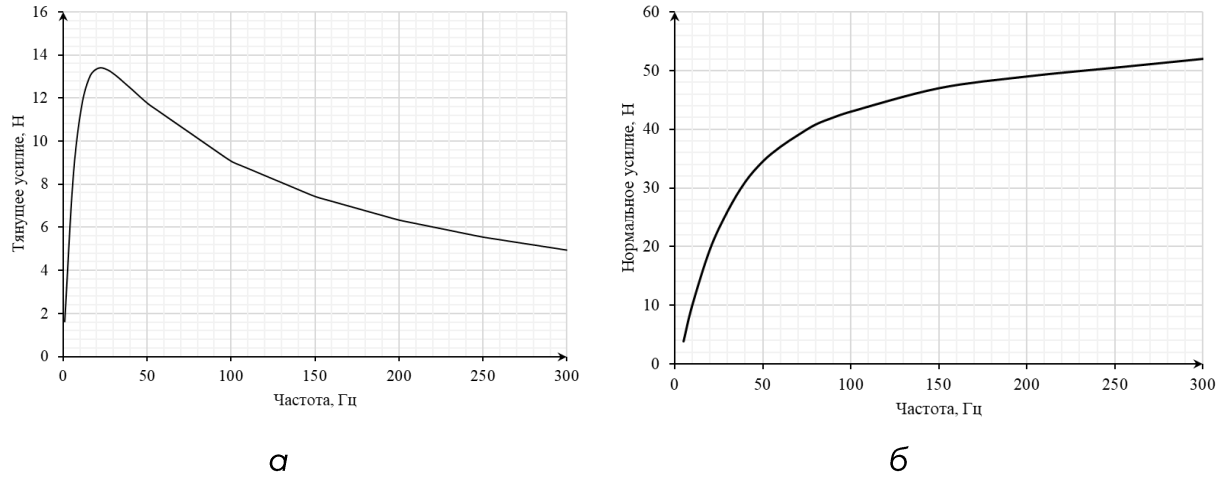
Рис. 2. Расположение маркеров

Постановка задачи, основные допущения и система уравнений, описывающих электромагнитное поле, применительно к системе «расплав – МГД-перемешиватель», представлены в ранних работах авторов [4, 5].

Результаты моделирования

Интегральные силовые характеристики индуктора показаны на рис. 3. Выявлено, что частота питания индуктора, при которой тянущее усилие достигает максимальных значений, составляет 20 Гц. Тем не менее видно, что при применении промышленной частоты (50 Гц) снижение тянущего усилия составляет не более 10 %.

Таким образом, комплекс МГД-перемешивания может применяться без использования частотного преобразователя, что является рациональным экономически и с точки зрения надежности. В целом следует ожидать получение тянущего усилия порядка 1 кгс и отталкивающего 2–4 кгс. Решающую роль для перемешивания играет именно тянущая составляющая.



а *б*

Рис. 3. Электромагнитные силы от частоты:
а – тангенциальная составляющая; *б* – нормальная составляющая

Полученная скорость растворения указанных маркеров показана на рис. 4. Важно иметь в виду, что такой подход к моделированию демонстрирует только интенсивность процессов массопереноса, но не учитывает реальных химических реакций в расплаве, т. е. реально, процессы растворения могут протекать со значительно меньший скоростями, зависящими от компонентов сплава и легирующих добавок.

Как видно из графика, маркеры, расположенные в донной и средней частях печи, полностью растворяется за 4,8 с. Зеленый маркер, расположенный в верхней части печи, растворяется за 6,2 с. Реверс МГД-перемешивателя изменит характер циркуляции и, соответственно, и динамики растворения, на противоположный.

На рис. 5 показано изменение средней и максимальной скорости в расплаве. Максимальные скорости, как было показано выше, достигаются вблизи индуктора и имеют значение порядка 1–1,2 м/с, что является типичным для технологии МГД-перемешивания. Средние скорости зависят от объема тигля и в данном случае составляют порядка 0,3 м/с. Количество

движения в расплаве характеризует общая кинетическая энергия, график изменения которой показан на рис. 6.

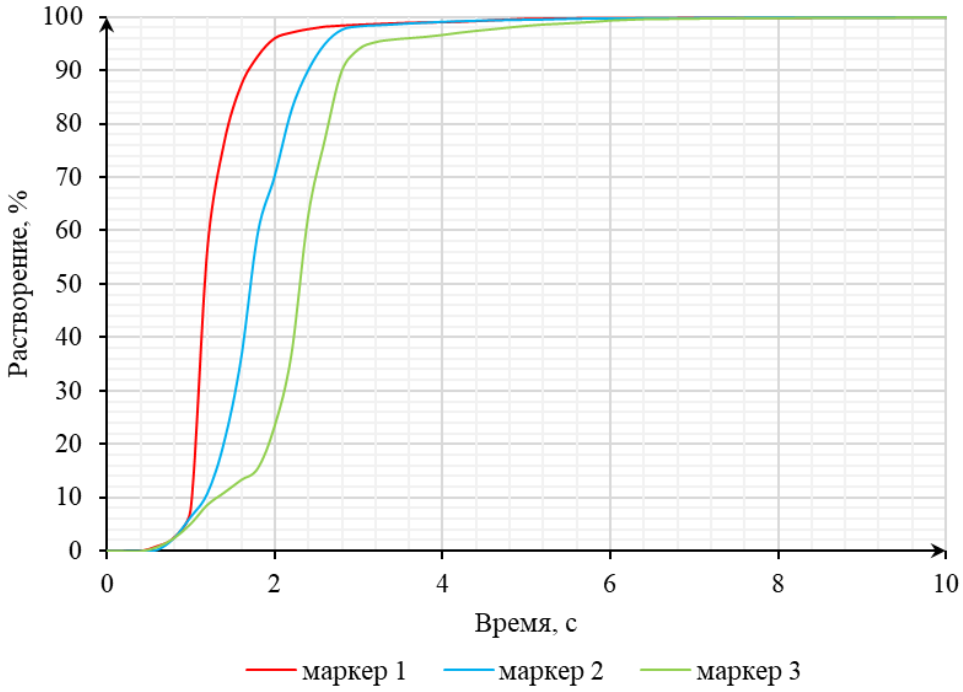


Рис. 4. График растворения маркеров

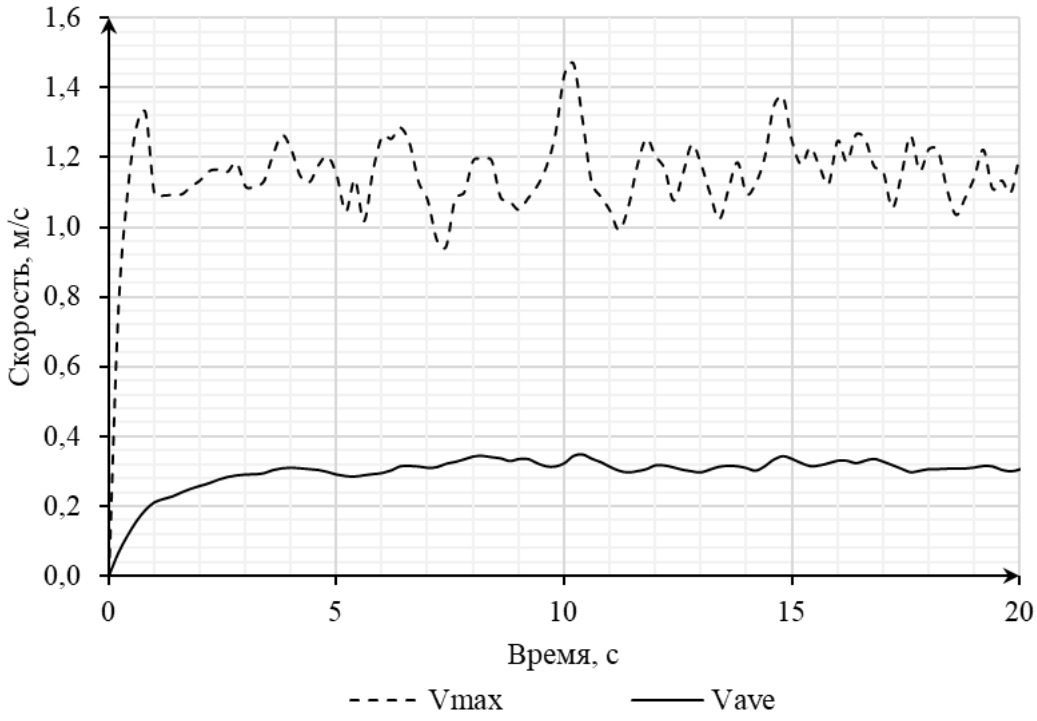


Рис. 5. График максимальной и средней скорости в объеме тигля

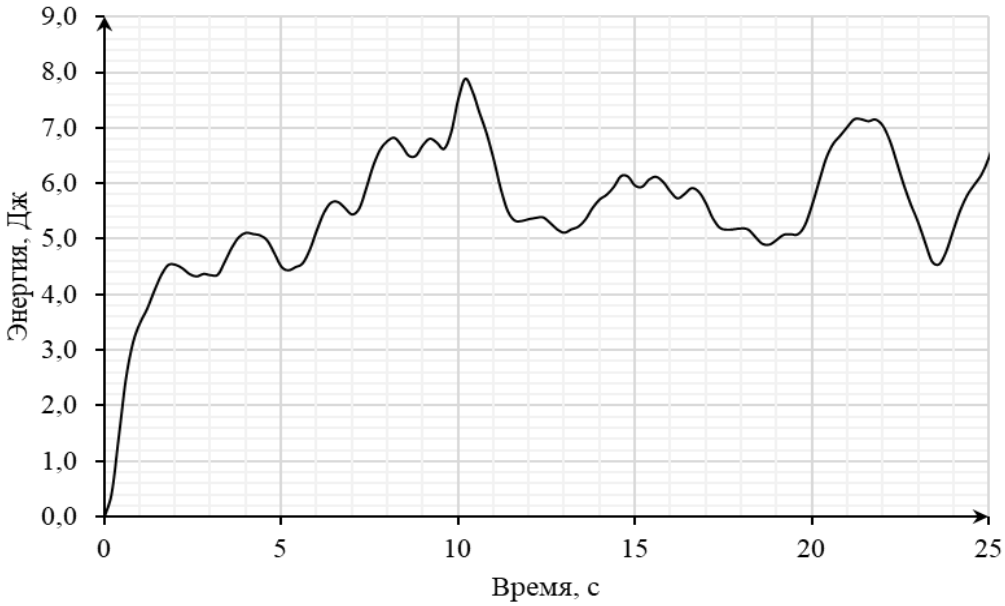


Рис. 6. График энергии расплава в тигле

Заключение

С помощью численного моделирования электромагнитного перемешивания в индукционной тигельной печи косвенного нагрева реализована возможность применения электромагнитного перемешивателя для приготовления алюминиевых сплавов. Получена оптимальная частота питания индуктора и интегральные параметры выбранного типа индуктора.

Список источников

1. Простяков А. А. Индукционные печи и миксеры для плавки чугуна. М. : Энергия, 1977. 216 с.

2. Брокмайер К. Индукционные плавильные печи / пер. с нем. под ред. М. А. Шевцова и М. Я. Столова. М. : Энергия, 1972. 304 с.

3. Вольдек А. И. Индукционные магнитогидродинамические машины с жидкометаллическим рабочим телом. Л. : Энергия, 1970. 272 с.

4. Максимов А. А., Хацаюк М. Ю., Тимофеев В. Н. Сравнительная оценка результатов численного моделирования гидродинамических процессов в системе «ванна с расплавом – МГД-перемешиватель» // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2018. Т. 11, № 2. С. 138–147.

5. Maksimov A. A., Khatsayuk M. Y., Timoveef V. N. Aspects of Energy Transformation and Energy Control Capabilities in Electric Machines with a Liquid-Metal Working Body. *20th International Conference on Micro/nanotechnologies and Electron Device* (Erlagol, Altai Republic, Russia, 2019), pp. 726–730.

УДК 621.311

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЙ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ НА ЗРУ 110 КВ

С. В. Марьяшин[1], Е. Ю. Сизганова[2], Л. С. Синенко[3]

[1, 2, 3]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]sergeymaryashin0@gmail.com

Введение

Рост потребления энергии в городах требует постоянного развития и совершенствования электрических сетей. Поэтому разветвленность и увеличение проятженности электрической сети неизбежны. Это приводит к увеличению числа аварий, вызванных внешними и внутренними факторами, такими как погодные явления, старение оборудования и неверные действия оперативного персонала. В результате аварий нарушается нормальная работа части или всей сети, что приводит к недопоставкам энергии потребителям, снижению ее качества и материальному ущербу в виде производственных дефицитов и разрушения основного оборудования. Для ликвидации большинства аварий и предотвращения их развития необходимо быстро отключить поврежденный участок сети с помощью устройства защиты релейного типа.

В качестве первоочередной меры по ограничению токов короткого замыкания сетей 110–500 кВ, содержащих шинные выключатели, рекомендуется разделение сетей в рабочем режиме или режиме короткого замыкания. Также рекомендуется шире использовать автоматическое опережающее деление сетей в режиме короткого замыкания там, где можно избежать замены выключателей, а при выборе выключателей для вновь вводимых объектов рассматривать опережающее разделение сетей как резерв, который будет использоваться в процессе эксплуатации при развитии сети [1].

Математическая модель. Исследование проведено на примере ЗРУ 110 кВ Красноярской ТЭЦ-2 со схемой, состоящей из двух секционированных систем шин с обходными системами шин [2]. Анализ существующей схемы показал, что она отличается надежностью и относительно малым временем перерыва электроснабжения при авариях на одной из систем шин, но имеет ряд недостатков: повреждение шиносоединительного

© Марьяшин С. В., Сизганова Е. Ю., Синенко Л. С., 2024

выключателя равносильно короткому замыканию на обеих системах шин; усложняется эксплуатация РУ, так как при выводе в ревизию и ремонт выключателей требуется большое число операций разъединителями.

Расчет токов КЗ выполнен на основе РД 153–34.0–20.527–98 [3] в программном комплексе (ПК) АРМ СРЗА по расчетной схеме замещения участка сети. Данная схема замещения составлена на основании нормальной схемы электрических соединений объектов электроэнергетики, входящих в операционную зону Красноярского РДУ (рис. 1).

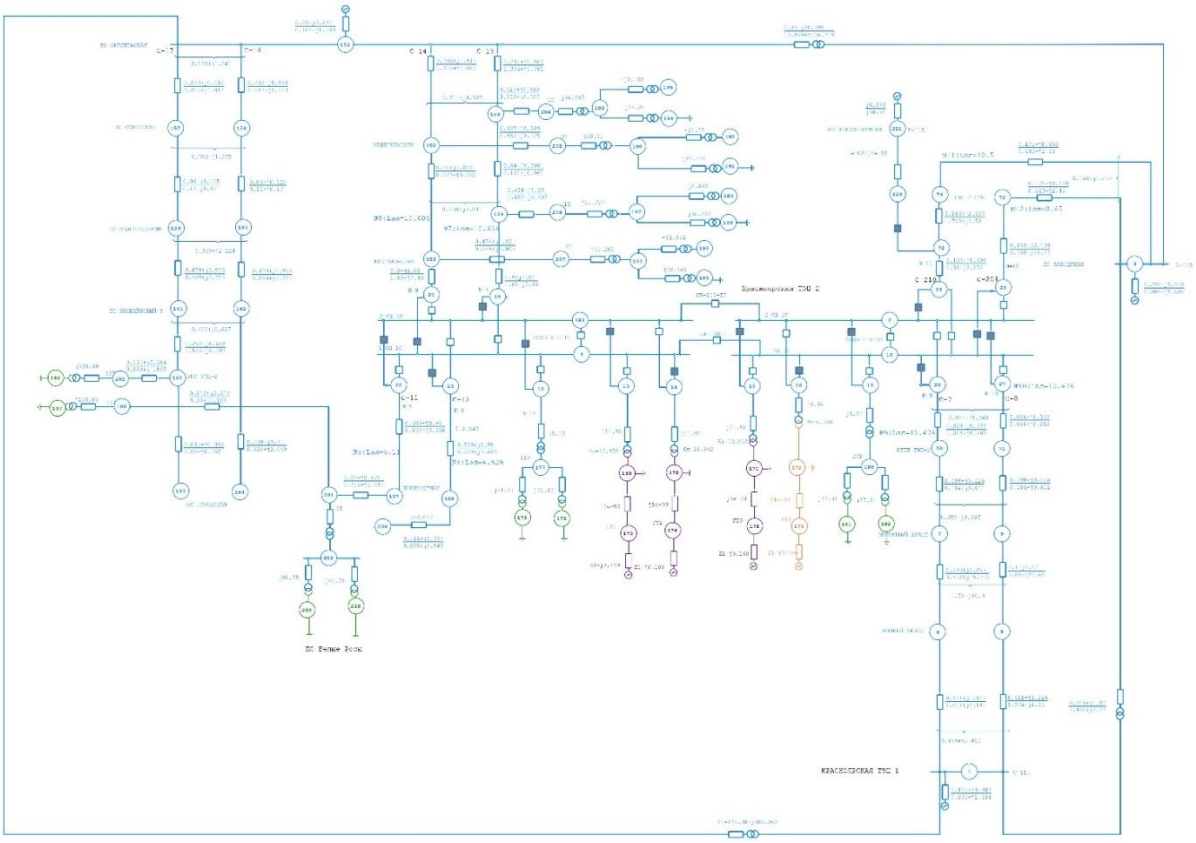


Рис. 1. Расчётная схема замещения участка сети

Максимальные значения токов КЗ через оборудование рассчитано как для варианта параллельной работы 1 и 2 секции 110 кВ, так и для варианта установки автоматики опережающего деления сети АОДС с действием на отключение. Результаты расчётов токов КЗ до и после срабатывания АОДС приведены в табл. 1.

В результате расчётов и сопоставления полученных значений токов с паспортными данными оборудования выявлено, что на Красноярской ТЭЦ-2 некоторое оборудование не проходит по условиям коммутационной способности и электродинамической стойкости [4]. Но после срабатывания АОДС на Красноярской ТЭЦ-2 всё существующее оборудование соответствует по отключающей способности уровню токов КЗ сети.

Таблица 1

Результаты расчёта токов КЗ

№ п/п	Номер узла (ветви)	Обозначение узла (ветви)	До срабатывания АОДС		После срабатывания АОДС	
			$I^{(3)}$, кА	$I^{(1)}$, кА	$I^{(3)}$, кА	$I^{(1)}$, кА
1	1	Красноярская ТЭЦ-1 (шины 110 кВ)	35,907	41,238	27,779	33,623
2	200	ПС 110 кВ Белые Росы 1 с. ш.	18,345	–	12,691	–
3	201	ПС 110 кВ Белые Росы 2 с. ш.	19,082	14,145	13,035	10,445
4	3	ПС 220 кВ Заводская (шины 110 кВ)	35,315	37,05	26,706	30,014
5	152	ПС 220 кВ Октябрьская (шины 110 кВ)	42,642	42,988	34,004	36,573
6	4-167	Выключатель линии ВЛ-110 кВ С-11	40,029	41,589	20,256	19,545
7	183-168	Выключатель линии ВЛ-110 кВ С-12	40,029	42,012	20,256	20,029
8	4-154	Выключатель линии ВЛ-110 кВ С-13	32,606	39,442	12,185	17,085
9	183-153	Выключатель линии ВЛ-110 кВ С-14	32,542	39,385	12,114	17,02
10	2-75	Выключатель линии ВЛ-110 кВ С-209	35,456	38,896	17,243	20,652
11	10-72	Выключатель линии ВЛ-110 кВ С-210	35,379	37,777	17,123	20,782
12	2-50	Выключатель линии ВЛ-110 кВ С-7	36,577	40,044	18,65	21,762
13	10-71	Выключатель линии ВЛ-110 кВ С-8	36,887	41,034	18,972	22,721
14	183-4	ОСШВ-110-1С	40,029	42,012	20,256	20,555
15	2-10	ОСШВ-110-2С	40,029	42,012	22,249	23,664
16	4-10	СВ-110-I	40,029	42,012	–	–
17	183-2	СВ-110-II	40,029	42,012	–	–
18	4-169	ВН блока генератор-трансформатор 1ГТ	37,994	36,833	18,246	14,102
19	183-170	ВН блока генератор-трансформатор 2ГТ	37,994	36,833	18,246	14,102
20	183-171	ВН блока генератор-трансформатор 3ГТ	37,994	36,833	20,205	18,571
21	2-172	ВН блока генератор-трансформатор 4ГТ	36,873	33,118	19,079	15,093
22	4-177	ВН трансформатора 1ТР	40,029	40,504	20,256	18,303
23	10-180	ВН трансформатора 2ТР	40,029	40,614	22,249	22,316
24	169	НН блока генератор-трансформатор 1ГТ	90,2	–	83,807	–
25	170	НН блока генератор-трансформатор 2ГТ	90,2	–	83,807	–
26	171	НН блока генератор-трансформатор 3ГТ	90,2	–	84,534	–
27	172	НН блока генератор-трансформатор 4ГТ	78,51	–	70,191	–
28	178	НН трансформатор 1ТР	15,927	–	15,652	–
29	181	НН трансформатор 2ТР	14,789	–	14,514	–
30	4, 2, 10, 183	КрасноярскаяТЭЦ-2 (шины 110 кВ)	40,029	42,012	–	–
31	4, 183	КрасноярскаяТЭЦ-2 (1 секция 110 кВ)	–	–	20,256	20,029
32	2, 10	КрасноярскаяТЭЦ-2 (2 секция 110 кВ)	–	–	22,249	23,664

Окончание табл. 1

№ п/п	Номер узла (ветви)	Обозначение узла (ветви)	До срабатывания АОДС		После срабатывания АОДС	
			I, кА	I , кА	I, кА	I , кА
33	4-10	СВ-110-I при обрыве ошиновки между СВ-110-I и 1СШ 1С	40,029	42,012	–	–
34	4-10	СВ-110-I при обрыве ошиновки между СВ-110-I и 1СШ 2С	40,029	42,012	–	–
35	183-2	СВ-110-II при обрыве ошиновки между СВ-110-II и 2СШ 1С	40,029	42,012	–	–
36	183-2	СВ-110-II при обрыве ошиновки между СВ-110-II и 2СШ 2С	40,029	42,012	–	–

Были рассмотрены варианты подключения шкафа АОДС: 1) подключение на каждое присоединение 110 кВ; 2) подключение ТТ на СВ-ICШ, СВ-IICШ; 3) подключение ТТ на сумму токов через СВ-ICШ и СВ-IICШ. Первый вариант подключения АОДС является наиболее технически сложным, так как требует подключения на ТТ каждого присоединения 110 кВ Красноярской ТЭЦ-2 и расширения шкафа АОДС. Но при проведении расчетов при первом варианте подключения наблюдается наиболее селективная работа АОДС. Второй и третий варианты подключения имеют большие риски излишних отключений СВ-ICШ, СВ-IICШ, что может привести к развитию аварий в энергосистеме. Далее для обеспечения селективной работы АОДС должны использоваться три группы уставок.

Согласно РД 34.20.175 [1], если ток КЗ находится в диапазоне $I_{\text{но}} < I_{\text{к наиб}} < 2I_{\text{но}}$, то уставка срабатывания быстродействующего измерительного органа максимального тока АОДС определяется по формуле

$$I_{\text{уст}} = \frac{I_{\text{но}}}{K}\left(1 - \left(1 - \frac{K^2 \cdot I_{\text{нагр}}}{I_{\text{но}}}\right) \cdot \left(\frac{I_{\text{к наиб}}}{I_{\text{но}}} - 1\right)\right), \quad (1)$$

где $I_{\text{но}}$ – номинальный ток отключения выключателя, кА; $I_{\text{нагр}}$ – наибольший ток нагрузки в режимах, не требующих деления сети (в частности, в режиме перегрузки линии, режиме качаний или при броске тока намагничивания), кА; $I_{\text{к наиб}}$ – наибольший ток КЗ в начале каждого из присоединений; K – коэффициент запаса, учитывающий погрешности ТТ.

Расчёт вторичной уставки, А,

$$I_{\text{уст втор}} = \frac{I_{\text{уст}}}{K_I} \quad (2)$$

где $I_{\text{уст}}$ – первичное значение уставки, А; K_I – коэффициент трансформации ТТ, соответствующего присоединения, о. е.

Определение времени отключения секционных выключателей действием АОДС, с:

$$t_{\text{СВ АОДС}} = t_{\text{ОВ}} + t_{\text{СР АОДС}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{ОВ}}$ – время отключения СВ-ICШ (СВ-IICШ), с; $t_{\text{СР АОДС}}$ – время срабатывания АОДС с учётом времени работы промежуточных реле в выходных цепях, с.

Проведенные расчеты и сопоставление их с паспортными значениями оборудования доказывают, что использование данной противоаварийной автоматики является целесообразным.

При оценке эффективности создания и последующей эксплуатации предлагаемой модернизации противоаварийной автоматики выявлено, что установка АОДС позволит избежать значений токов КЗ превышающих электродинамическую стойкость оборудования ЗРУ 110 кВ. Кроме того, она экономически выгоднее замены оборудования, поскольку стоимость установки АОДС (≈ 4 970 000 руб.) намного меньше стоимости замены оборудования (≈ 13 34 608 руб.).

Выводы

В результате исследования выявлено, что после срабатывания автоматики опережающего деления сети токи КЗ снижаются до приемлемого уровня. Применение автоматического опережающего разделения сетей позволяет обеспечить дальнейшую эксплуатацию существующего оборудования без замены.

Список источников

1. РД 34.20.175. Указания по ограничению токов короткого замыкания в сетях напряжением 110 кВ и выше (17.04.1975).

2. ГОСТ 59279–2020. Национальный стандарт российской федерации. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Электрические сети. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций.

3. РД153-34.0-20.527–98. Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору оборудования электрооборудования.

4. Герасименко А. А., Федин В. Т. Электроэнергетические системы и сети: расчеты, анализ, оптимизация режимов работы и проектных решений электрических сетей : учеб. пособие для вузов по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электроника». Ростов-н/Д : Феникс, 2018. С. 464.

УДК 621.331.5, 621.314.5, 621.382, 621.3.051

ОБЗОР СХЕМОТЕХНИКИ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ БЕСПРОВОДНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

В. И. Пантелеев, А. С. Амузаде[1], В. В. Шевченко, Р. А. Петухов, Г. А. Пилюгин, Н. В. Сизганов, А. В. Малеев

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]aamuzade@sfu-kras.ru

Целью работы является анализ силовой схемотехники в системе магнитно-резонансной беспроводной передачи электрической энергии с использованием магнитных полей. Выполнена оценка рабочих режимов работы топологий «полумост» и «мост» системы беспроводной передачи энергии вблизи резонанса передающей и приемной катушек.

Введение

Исходя из планируемой последовательности этапов проектирования беспроводного зарядного устройства (БЗУ) для электротранспорта (ЭТ) лучше на первом этапе ограничиться так называемой статической беспроводной зарядной системой (во время стоянки ЭТ требует минимальных капитальных вложений в дорожную инфраструктуру) [1], с магнитно-резонансной связью передающей и приемной катушек (благодаря последовательному резонансу LC напряжение на катушках превышает напряжение питания в несколько раз, повышая таким образом передаваемую активную мощность), уровнем мощности Mode 1 (3,3–3,7 кВт) [2].

После анализа зарубежных статей [1, 3, 4] были приняты следующие начальные условия:

1) последовательно-последовательная схема компенсации (резонанса) катушек;

2) топология силовой электроники до 6–7 кВт – «мост» или «полумост».

На топологии «полумост» используется емкостный делитель напряжения C1-C2 (конденсаторы по 4700 мкФ) на частоте 99,8 кГц (рис. 1, 2) (при $K_{\text{связи}}$ = 0,7; частота резонансов контуров L1C и L2C 100 кГц) получаем следующие результаты (см. рис. 3–5).

© Пантелеев В. И., Амузаде А. С., Шевченко В. В., Петухов Р. А., Пилюгин Г. А., Сизганов Н. В., Малеев А. В., 2024

Генератор управляющих сигналов (form) формирует необходимые импульсы на затворах биполярных транзисторов с изолированным затвором (БТИЗ/IGBT) VT1-VT2 с бестоковой паузой 0,3 мкс. Последовательный резонанс напряжений на передающей катушке обеспечивается контуром C L1 с целью мягкой коммутации транзисторов при минимуме тока, а на приемной – контуром L2 C. Выпрямление переменного тока осуществляется импульсными быстродействующими диодами VD1-VD4. Фильтрацию высших гармоник в цепи постоянного тока осуществляет контур $L_f C_f$.

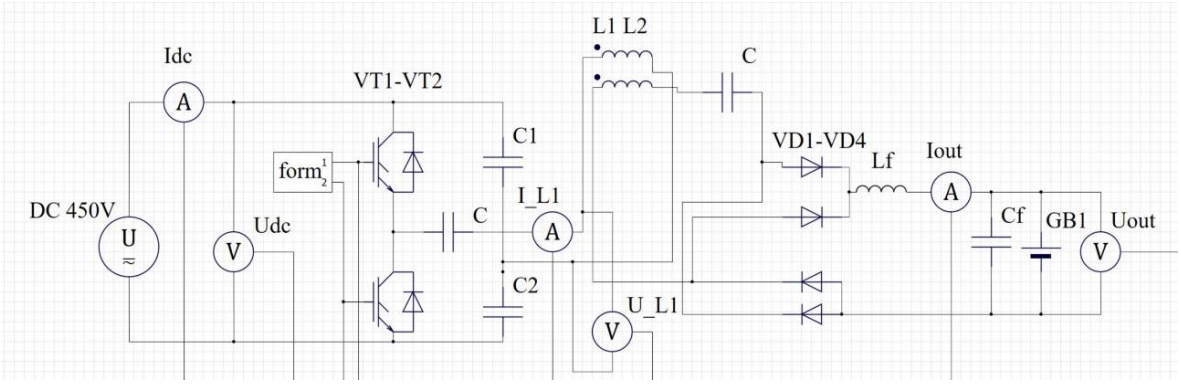


Рис. 1. Принципиальная схема «полумост»
с входным постоянным напряжением 450 В

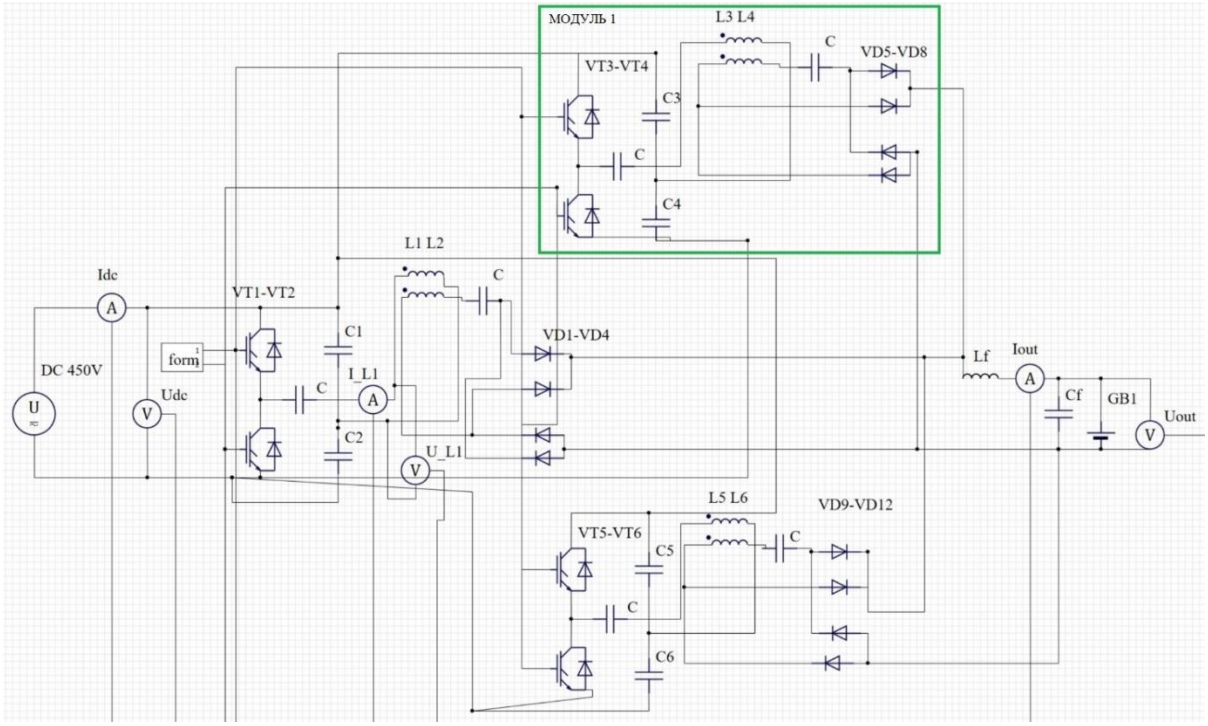


Рис. 2. Схема с утроенным числом силовых модулей «полумост»

Рассмотрим возможности топологии «мост» (рис. 3).

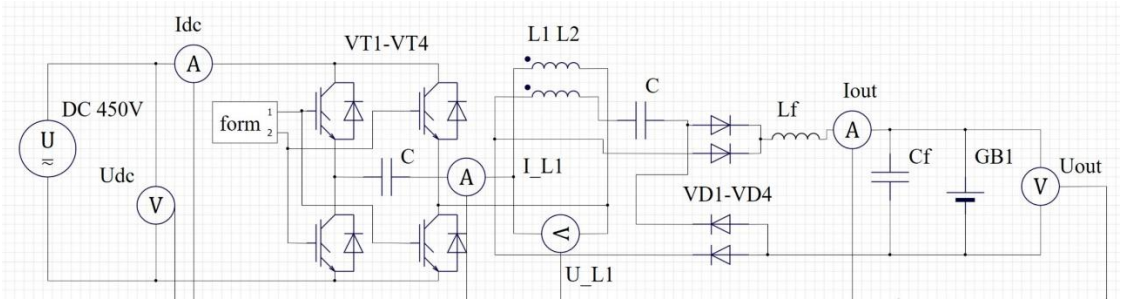


Рис. 3. Принципиальная схема «мост»
с входным постоянным напряжением 450 В

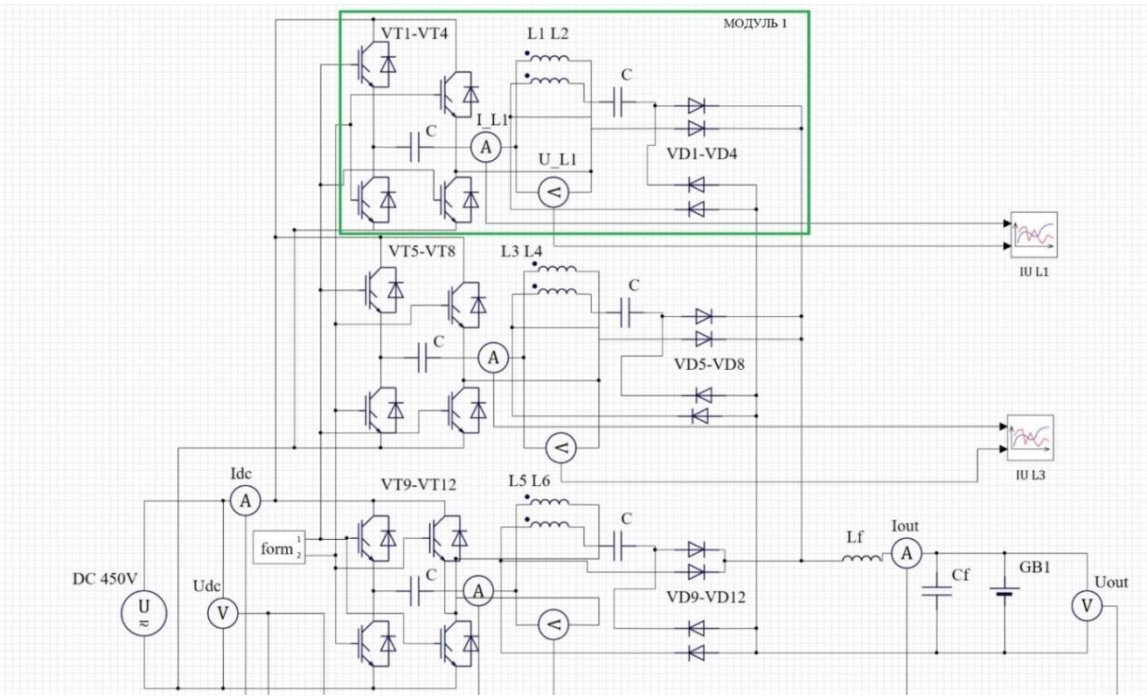


Рис. 4. Схема с утроенным числом силовых модулей «мост»

Выбор схем «мост» согласно результатам имитационного моделирования в среде SimInTech обещает высокий КПД в диапазоне 0,975–0,983 с диапазоном мощности $P_{вых}$:

а) схема «мост», один модуль: 2,9–12,3 кВт;

б) схема «мост», три модуля: 8,7–38,1 кВт.

Схема «полумост» обещает КПД в диапазоне 0,853–0,955 с диапазоном мощности:

а) схема «полумост», один модуль: 1,4–5,9 кВт;

б) схема «полумост», три модуля: 4,2–18,1 кВт.

Вывод

До уровня мощности Mode 1 (3,3–3,7 кВт) выгодно использование одного модуля схемы «полумост», при дальнейшем росте мощности один или несколько модулей «мост» с ростом входного напряжения могут достичь выходной мощности до 38 кВт.

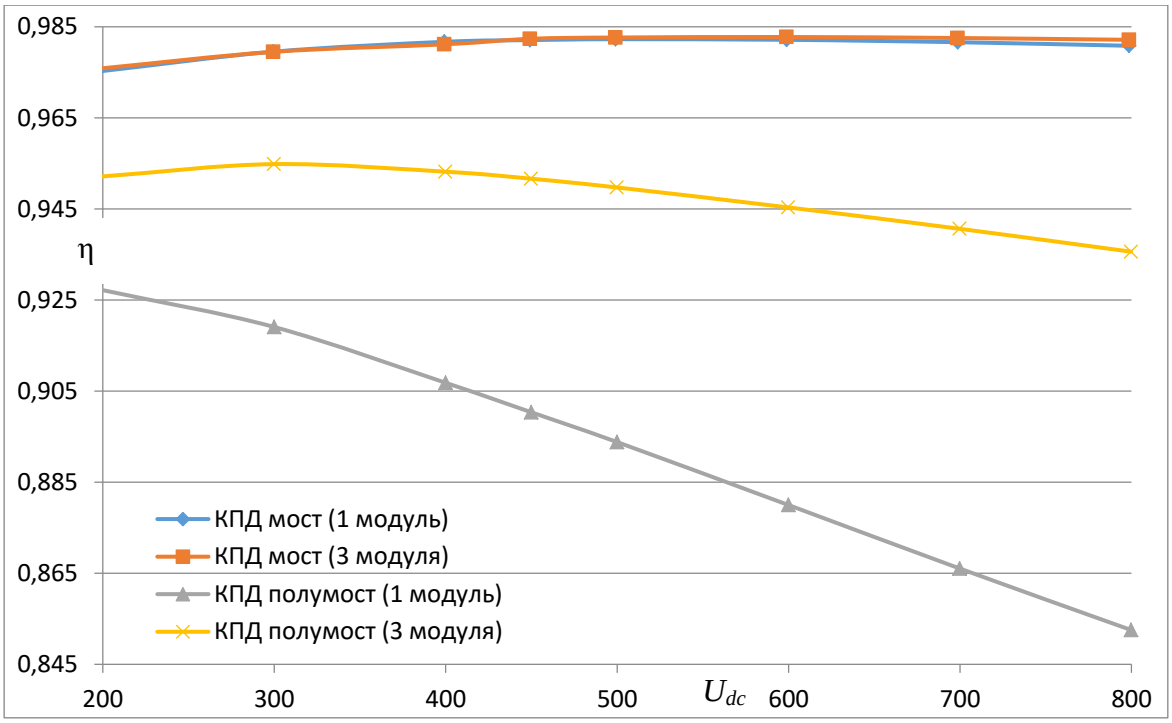


Рис. 5. КПД разных схем с одним и тремя модулями(фазами) от U_{dc}

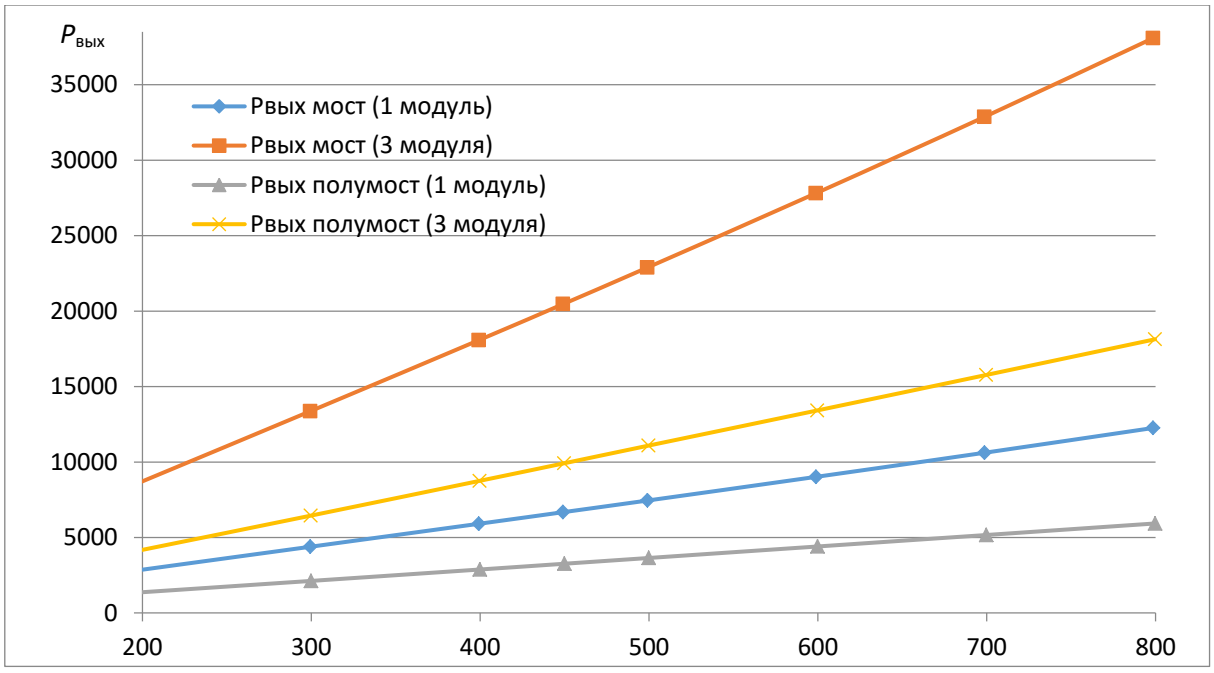


Рис. 6. Выходная мощность приемной катушки $P_{вых}$ разных схем с одним и тремя модулями(фазами) от U_{dc}

Список источников

1. Vishnuram P., Nastasi B. Wireless Chargers for Electric Vehicle: A Systematic Review on Converter Topologies, Environmental Assessment, and Review Policy. Energies 2023, 16, 1731. [Electronic resourse]. Access: https://doi.org/10.3390/en16041731.

2. SAE J2954 is a standard for wireless power transfer (WPT) for electric vehicles led by SAE International. [Electronic resourse]. Access: https://en.m.wikipedia.org/wiki/SAE_J2954.

3. Jiang, Jinhai & Lan, Yu & Zhang, Ziming & Zhou, Xingjian & Song, Kai. (2022). Thermal Estimation and Thermal Design for Coupling Coils of 6.6 kW Wireless Electric Vehicle Charging System. Energies. 15. 6797. [Electronic resourse]. Access: https://www.researchgate.net/publication/363659615_Thermal_Estimation_and_Thermal_Design_for_Coupling_Coils_of_66_kW_Wireless_Electric_Vehicle_Charging_System.

4. Khan, Ijhar & Qureshi, Muhammad & Urrehman, Mutee & Khan, Wasif. (2017). Long range wireless power transfer via magnetic resonance. 3079-3085. 10.1109/PIERS-FALL.2017.8293663. [Electronic resourse]. Access: https://www.researchgate.net/publication/323352288_Long_range_wireless_power_transfer_via_magnetic_resonance.

УДК 621.314

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ДЕМПФИРУЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

Н. А. Рыжов[1], В. П. Довгун[2]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]naikilend@mail.ru

Для одновременного подавления низкочастотных гармоник и ослабления резонансных режимов в сетях различных классов напряжения находят применение широкополосные демпфирующие фильтры (ШПФ) [11, 14, 15, 18]. Типовая частотная характеристика полного сопротивления ШПФ показана на рис. 1. Здесь f_H – частота настройки фильтра, соответствующая частоте наиболее мощной гармоники. На частотах, превышающих f_H, сопротивление широкополосного фильтра практически равно сопротивлению демпфирующего резистора. Если сопротивление резистора невелико, обеспечивается ослабление высокочастотных гармоник и демпфирование резонансных режимов в полосе ослабления при $f > f_H$.

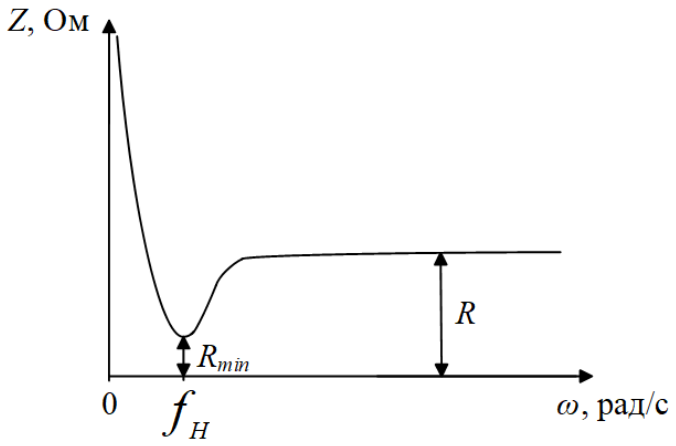


Рис. 1. Частотная характеристика широкополосного демпфирующего фильтра

Широкополосные фильтры обеспечивают компенсацию реактивной мощности на частоте основной гармоники и ослабление высших гармоник. В первую очередь происходит подавление гармоники, частота которой близка к частоте настройки f_H. Селективность фильтра в полосе ослабления можно варьировать, выбирая структуру фильтра и изменяя сопротивление демпфирующего резистора *R*.

© Рыжов Н. А., Довгун В. П., 2024

В простейшем широкополосном фильтре второго порядка демпфирующий резистор включен параллельно реактору (рис. 2). В [9, 10] рассмотрены примеры использования широкополосных фильтров второго порядка для компенсации искажений напряжения, создаваемых мощными нелинейными нагрузками.

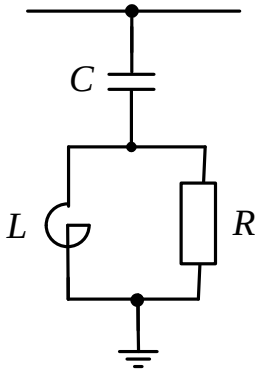


Рис. 2. Широкополосный фильтр второго порядка

Сопротивление широкополосного фильтра второго порядка имеет минимум на частоте настройки $\omega_H = 1/\sqrt{LC}$. Форму частотной характеристики в полосе ослабления можно изменять, варьируя сопротивление демпфирующего резистора R. Добротность широкополосного фильтра второго порядка определяется выражением [7–9, 13].

$$Q = \frac{R}{\sqrt{L/C}} = \frac{R}{X_L(\omega_{\text{Н}})} = \frac{R}{X_C(\omega_{\text{Н}})}. \quad (1)$$

Здесь $X_L(\omega_{\text{Н}})$ и $X_C(\omega_{\text{Н}})$ – индуктивное и емкостное сопротивления на частоте настройки. Как правило, добротность ШПФ выбирают в диапазоне 0,5–2 [7–9].

Ток *n*-й гармоники в реакторе ШПФ

$$I_{Ln} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_{Ln}^2}} I_{Cn}, \quad (2)$$

где I_{Cn} – ток *n*-й гармоники в реакторе фильтра.

Ток *n*-й гармоники в демпфирующем резисторе

$$I_{Rn} = \frac{X_{Ln}}{\sqrt{R^2 + X_{Ln}^2}} I_{Cn}. \quad (3)$$

Реактивную мощность широкополосного фильтра определяет основной конденсатор C_1. Согласно [8] реактивная мощность широкополосного фильтра второго порядка (рис. 2) определяется выражением

$$Q_{\Phi} = \frac{n^2}{n^2 - 1} Q_{C1}. \tag{4}$$

Активная мощность, поглощаемая резистором:

$$P_R = \sum_{n=1} R I_{Rn}^2 = \frac{X_{L1}}{R} \sum_{n=1} \left(n I_{Ln}^2 \right). \tag{5}$$

В последнем выражении X_{L1} – индуктивное сопротивление реактора на частоте основной гармоники.

Приведем основные расчетные соотношения для ШПФ второго порядка. Емкость основного конденсатора:

$$C_1 = \frac{Q_{\Phi}}{\omega_1 U^2}. \tag{6}$$

Индуктивность реактора

$$L = \frac{1}{\omega_{\text{Н}}^2 C_1}. \tag{7}$$

Сопротивление демпфирующего резистора

$$R = \frac{Q}{\omega_{\text{Н}} C_1}. \tag{8}$$

Широкополосные фильтры второго порядка имеют большие потери мощности на частоте основной гармоники. Потери увеличиваются при снижении частоты настройки f_H и уменьшении сопротивления демпфирующего резистора. Поэтому широкополосные фильтры второго порядка часто используют совместно с узкополосными звеньями, настроенными на низкочастотные гармоники. Назначение широкополосного фильтра второго порядка в этом случае – ослабление гармоник высокочастотного диапазона. По этой причине ШПФ второго порядка часто называют высокочастотными фильтрами (high-passfilters, HPF).

Значительно меньшие потери на частоте основной гармоники имеет широкополосный фильтр третьего порядка (рис. 3). Подробный анализ характеристик ШПФ третьего порядка проведен в работах [16]. На основе проведенного анализа в [16] предложена аналитическая процедура расчета ШПФ, однако она ограничена случаем, когда емкости конденсаторов оди-

наковы: $C_1 = C_2$. Такая упрощенная процедура расчета позволяет получить решения, далекие от оптимальных.

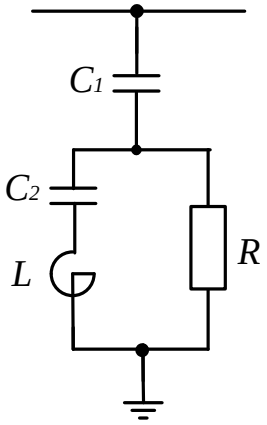


Рис. 3. Широкополосный фильтр третьего порядка

В статье [12] емкость конденсатора C_1 и индуктивность реактора L_2 предложено рассчитывать с помощью формул:

$$C_1 = Q_\Phi \Big/ \left(\omega_1 U^2\right); \tag{9}$$

$$L_2 = 1 \Big/ \left(\omega_H^2 C_1\right), \tag{10}$$

где ω_1 – частота основной гармоники, ω_H – частота ослабляемой гармоники, Q_Φ – реактивная мощность фильтра, U – напряжение сети.

Емкость конденсатора C_2 выбирается так, чтобы минимизировать потери активной мощности на частоте основной гармоники:

$$C_2 = C_1 \Big/ \left(Q^2 - 1\right).$$

Другой способ снижения потерь мощности использован в фильтрах *C*-типа [1]. В поперечную ветвь широкополосного фильтра второго порядка включается конденсатор C_2 (рис. 4). Емкость C_2 выбирают такой, чтобы резонансная частота последовательного колебательного контура LC_2 совпадала с частотой основной гармоники.

Входное сопротивление фильтра *C*-типа:

$$Z\left(j\omega\right) = \frac{R\left(-\omega^2 + \dfrac{1}{LC_2}\right)}{-\omega^2 + j\omega\dfrac{R}{L} + \dfrac{1}{LC_2}} + \frac{1}{j\omega C_1}. \tag{11}$$

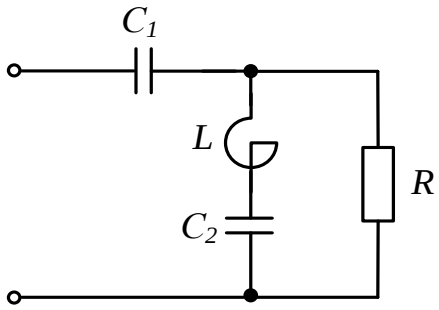


Рис. 4. Фильтр С-типа

Колебательный контур $L-C_2$ настроен в резонанс на частоту основной гармоники, поэтому $Z\left(j\omega_1\right)=\dfrac{1}{j\omega_1 C_1}$.

На частоте настройки ω_H реактивное сопротивление фильтра $X\left(\omega_h\right)$ равно нулю:

$$X_{\text{ф}}\left(\omega_h\right)=\frac{\omega\dfrac{R^2}{L}\left(-\omega^2+\dfrac{1}{LC_2}\right)}{\left(-\omega^2+\dfrac{1}{LC_2}\right)^2+\left(\omega\dfrac{R}{L}\right)^2}-\frac{1}{\omega C_1}=0. \qquad (12)$$

Активное сопротивление фильтра на частоте ω_H

$$R_{\text{ф}}\left(\omega_H\right)=\frac{R\left(-\omega^2+\dfrac{1}{LC_2}\right)}{\left(-\omega^2+\dfrac{1}{LC_2}\right)^2+\left(\omega\dfrac{R}{L}\right)^2}. \qquad (13)$$

Из приведенных выражений следует, что резонансная частота фильтра *С*-типа:

$$\omega_{02}=\sqrt{\left(C_1+C_2\right)/LC_1C_2}\ . \qquad (14)$$

Частотные характеристики сопротивления сети при включении фильтра С-типа с двумя различными значениями демпфирующего резистора представлены на рис. 5. При увеличении сопротивления увеличивается степень подавления третьей гармоники, однако уровень ослабления высокочастотных гармоник снижается.

Фильтр С-типа рассматривают обычно как модификацию широкополосного фильтра второго порядка. Его достоинство – малые потери мощности в демпфирующем резисторе на частоте основной гармоники. Эффект

минимального потребления мощности достигается в том случае, если последовательный колебательный контур $L-C_2$ точно настроен на частоту основной гармоники. При изменении частоты настройки, вызванной изменением индуктивности и емкости контура, активная мощность, потребляемая фильтром С-типа, значительно возрастает.

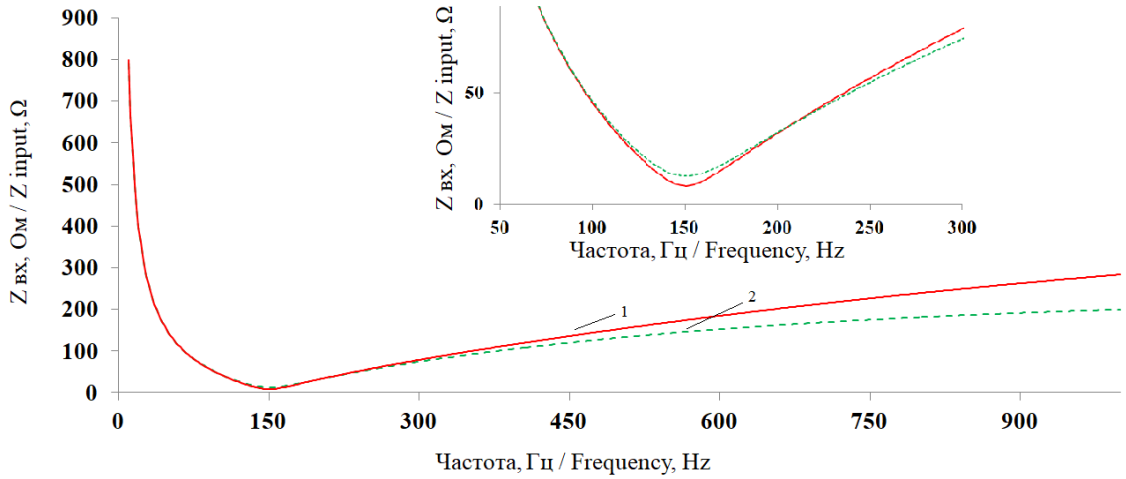


Рис. 5. Частотные характеристики фильтра С-типа:
1 – R = 500 Ом, 2 – R = 250 Ом

Существенным недостатком фильтров С-типа является большая суммарная емкость конденсаторов и, соответственно, большая стоимость.

Методы расчета многофункциональных компенсирующих устройств на основе фильтров С-типа, осуществляющих компенсацию реактивной мощности, ослабление гармоник и демпфирование резонансных режимов рассмотрены в [14, 15, 17–19]. В этих работах демпфирующие свойства широкополосных фильтров предложено оценивать по величине коэффициента усиления гармоник (harmonicamplificationratio – HAR), определяемого выражением

$$HAR(\omega)=\left|\frac{U_{\text{КУ}}(\omega)}{U^{0}_{\text{КУ}}(\omega)}\right|=\left|\frac{Z_{\text{КУ}}(\omega)}{Z_{\text{С}}(\omega)+Z_{КУ}(\omega)}\right|, \qquad (15)$$

где $U^{0}_{\text{КУ}}(\omega)$, $U_{КУ}(\omega)$ – напряжение в точке общего присоединения соответственно до и после подключения компенсирующего устройства;
$Z_{\text{С}}(\omega)=R_{\text{С}}(\omega)+jX_{\text{С}}(\omega)$, $Z_{\text{КУ}}(\omega)=R_{\text{КУ}}(\omega)+jX_{\text{КУ}}(\omega)$ – сопротивление СЭС и ФКУ соответственно.

Нетрудно показать, что коэффициент $HAR(\omega)$ равен модулю коэффициента передачи тока нагрузки во внешнюю сеть:

$$K_I(\omega) = \frac{I_{\text{С}}}{J} = \frac{Z_{\text{КУ}}(\omega)}{Z_{\text{С}}(\omega) + Z_{\text{КУ}}(\omega)}. \quad (16)$$

В [17, 18] показано, что максимальное значение коэффициент $HAR(\omega)$ принимает в том случае, если выполняется условие

$$X_{\text{С}}(\omega) = -X_{\text{КУ}}(\omega). \quad (17)$$

При этом формула (8) принимает вид:

$$HAR_{worst}(\omega) = \sqrt{1 + \left(\frac{X_{\text{КУ}}(\omega)}{R_{\text{КУ}}(\omega)}\right)^2}. \quad (18)$$

Исследования, проведенные авторами работ [14, 19], показали, что многофункциональные ФКУ на основе фильтров *С*-типа имеют недостаточную селективность для ослабления гармоник и демпфирования резонансных режимов в протяженных сетях. Широкополосный демпфирующий фильтр должен иметь характеристики, обеспечивающие выполнение нескольких противоречивых критериев. В ШПФ второго порядка и фильтре С-типа изменять форму частотной характеристики можно с помощью только одного варьируемого параметра – сопротивления демпфирующего резистора. Поэтому обеспечить одновременное ослабление гармоник в широком диапазоне частот непросто.

Проведенный анализ показывает, что необходим поиск более эффективных структур ФКУ, обладающих достаточной селективностью для подавления низкочастотных характеристических гармоник, обеспечивающих демпфирование резонансных режимов в системе электроснабжения и снижение потерь в компонентах фильтра.

Значения элементов фильтра могут служить основой для выбора необходимого сопротивления, а вследствие и оптимизации потерь в самом фильтре.

Из формулы (9) определяем оптимальное сопротивление для фильтра с определенной добротностью:

$$R_к = \frac{314L}{40}. \quad (19)$$

Для определения потерь используем формулу (10):

$$P = \frac{U^2}{R_к}. \quad (20)$$

Потери на частоте основной гармоники являются одним из важных параметров, определяющих эффективность работы всего фильтра. Оценим потери мощности фильтра 2-го порядка и фильтра С-типа на разных частотах и добротностях.

Таблица 1

Потери мощности фильтров 2-го порядка и С-типа

Вариант	Суммарные потери
Фильтр 2-го порядка, Q = 1, третья гармоника	11,231
Фильтр 2-го порядка, Q = 1, пятая гармоника	0,856
Фильтр 2-го порядка, Q = 2, третья гармоника	13,058
Фильтр 2-го порядка, Q = 2, пятая гармоника	1,078
Фильтр С-типа, Q = 1, третья гармоника	2,956
Фильтр С-типа, Q = 1, пятая гармоника	0,002
Фильтр С-типа, Q = 2, третья гармоника	0,275
Фильтр С-типа, Q = 2, пятая гармоника	1,896

Расчеты показывают, что выбор оптимального значения сопротивления в фильтре позволяет значительно уменьшить потери.

Список источников

1. Аррилага Дж., Брэдли Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах / пер. с англ. М. : Энергоатомиздат, 1990. 320 с.

2. Коверникова Л. И., Суднова В. В., Шамонов Р. Г. и др. Качество электрической энергии: современное состояние, проблемы и предложения по их решению. Новосибирск : Наука, 2017. 219 с.

3. Коверникова Л. И., Тульский В. Н., Шамонов Р. Г. Качество электроэнергии в ЕЭС России: текущие проблемы и необходимые решения // Электроэнергия: передача и распределение. 2016. № 2. С. 28–38.

4. Синтез фильтрокомпенсирующих устройств для систем электроснабжения : коллективная монография / Н. П. Боярская, В. П. Довгун, Д. Э. Егоров и др.; под ред. В. П. Довгуна. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2014. 192 с.

5. Управление качеством электроэнергии / И. И. Карташев, В. Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.; под ред. Ю. В. Шарова. М. : Издательский дом МЭИ, 2006. 320 с.

6. Akagi H. Active harmonic filters.Proceedings of the IEEE. Vol. 93, 2005, No. 12, pp. 2128–2141.

7. Das J. Passive filters – potentialities and limitations. IEEE trans. on industry applications. Vol. 40, No. 1, January/February, 2004, pp. 232–241.

8. Das J. C. Power System Analysis, Short-Circuit Load Flow and Harmonics. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2012.

9. Das J. Design and application of a second-order high-pass damped filter for 8000-hp ID fan drivers – a case study. IEEE trans. on Industry Applications, Vol. 51, 2015, No. 2, pp. 1417–1425.

10. Badrzadeh B., Smith K., Wilson R. Designing passive harmonic filters for an aluminum smelting plant. IEEE trans. on industry applications, Vol. 47, No. 2, 2011, pp. 973–983.

11. Lamlom, A. Ahmed Ibrahim, A. Balc, M., Karadeniz, A., Abdel Aleem, S.H.E. Optimal Design and Analysis of Anti-Resonance C-Type High-Pass Filters. Proceedings of the IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe), Milan, Italy, 6–9 June 2017.

12. Li X., Xu W., Ding T. Damped high passive filter – a new filtering scheme for multipulse rectifier systems. – IEEE trans. on power delivery, Vol. 32, No. 1, 2017, pp. 117–124.

13. Nassif A., Xu W., Freitas W. An investigation on the selection of filter topologies for passive filter applications. IEEE trans. on Power Delivery, Vol. 24, 2009, No. 3, pp. 1710–1718.Doi: 10.1109/TPWRD.2009.2016824.

14. Wang Y., Xu S., Xu W., Wu J., Xiao X. Comparative Studies on Design Methods for Detuned C-Type Filter. IEEE trans. on Power Delivery. 2020, Vol. 35, No. 4, pp. 1725–1734.

15. Wang Y., Chen P., Yong J., Xu W., Xu S., Liu K. A comprehensive investigation on the selection of high-pass harmonic filters. IEEE trans. on Power Delivery. 2022, Vol. 37, No. 5, pp. 4212–4226.

16. Xiao Y., The method for designing the third order filter, Proc. 8th IEEE ICHQP, Oct. 1998, pp. 139–142.

17. Xu W., Ding T., Li X., Liang H. Resonance-free shunt capacitors – configurations, design methods and comparative analysis, IEEE Trans. Power Delivery, 2016, vol. 31, no. 5, pp. 2287–2295.

18. Xu S., Wang Y., Xiao X., Xu W., Wang Y. Adaptive Damping –An Improved Resonance Mitigation Scheme for Shunt Capacitors. IEEE Trans. Power Delivery, 2021, Early Access.

19. Zhang G., Wang Y., Xu W., Sitther E. Characteristic parameter-based detuned C-type filter design. – IEEE power and energy technology systems journal. Vol. 5, No. 2, 2018, pp. 65–72.

УДК 621.314

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В АКТИВНУЮ МОЩНОСТЬ

Д. К. Силуянов[1], А. Н. Филатов[2]
Научный руководитель – Г. А. Пилюгин[3]

[1, 2, 3]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]siluyanov-04@mail.ru

С каждым годом в мире растёт энергопотребление. Особенно это выразилось на фоне глобальной пандемии в 2020 г., когда мировое энергопотребление выросло на 5 %. По различным прогнозам, в 2024 г. ожидается рост до 3,3 %, а запасов углеводородного сырья хватит приблизительно на ближайшие 100 лет. Также за прошедший 2022 г. исследование мирового авторынка показало рост продаж электромобилей на 55 %. В связи с этим встаёт вопрос о снижении общемирового энергопотребления или создании новых способов повторного использования электричества. Все потребители платят за активную мощность, которая идёт на совершение полезной работы: работа печей, двигателей и т. п. Но важно помнить, что вместе с активной мощностью к нам приходит и реактивная мощность, которая нужна для того, чтобы передать активную мощность потребителю. По российскому законодательству потребитель не платит за реактивную мощность. Тогда может возникнуть вопрос, а можно ли данную «бесплатную» мощность заставить работать в наших интересах.

Энергетики, чтобы не гонять реактивную мощность по сетям туда-обратно, придумали идею, заключающуюся в том, чтобы генерировать реактивную мощность в месте непосредственного её потребления. То есть ставить в сеть различные реактивные элементы: конденсаторы, катушки и т. д. Давайте рассмотрим предложенные схему.

Данная схема состоит из источника переменного напряжения U, двух ключей $S1$ и $S2$, конденсатора C, резистора R. В начальный момент времени мы замыкаем ключ $S1$, и у нас образуется первый контур, где мы начинаем заряжать конденсатор. Затем, через определённый промежуток времени, мы размыкаем ключ $S1$ и замыкаем ключ $S2$. И у нас начинает свою работу второй контур, в котором будет запасаться реактивная мощность, которая не учитывается электросчётчиком. Во втором контуре у нас начи-

© Силуянов Д. К., Филатов А. Н., 2024

нает высвобождаться энергия, запасённая в конденсаторе. Она начинает преобразовываться из реактивной энергии в активную. Это мы можем установить путём выделения тепла на резисторе.

В чём суть данного преобразования? Данная схема показывает нам, что можно пробовать преобразовывать реактивную мощность из сети в активную. Но также важно помнить, что в данной схеме мы использовали элементы, которые могут работать именно с реактивной мощностью. В дальнейшем эту схему можно и нужно улучшать для достижения более качественных результатов.

В мировой практике вопрос преобразования реактивной мощности в активную мощность малоизучен. В основном встречаются вопросы о компенсации реактивной мощности и создании установок на этой основе. В связи с этим очень остро встаёт вопрос об исследовании данной темы и создании конечного устройства. Ведь тогда данное устройство и процесс преобразования может дать сильный импульс в развитии электроэнергетики и других отраслей науки. Но в то же время возникает резонный вопрос о том, а почему этот вопрос малоизучен? Причин на этот счёт может быть несколько:

1. Отсутствие обоснованной теории, вследствие – отсутствие практики и технических решений.
2. Отсутствие научных разработок по данной теме.
3. Повторение в учебниках для студентов электроэнергетических специальностей мысли о том, что реактивную мощность использовать нельзя.

И это только нескольких причин, почему нет особого развития данной темы в электроэнергетике на сегодняшний день. Назрела необходимость развития данной темы.

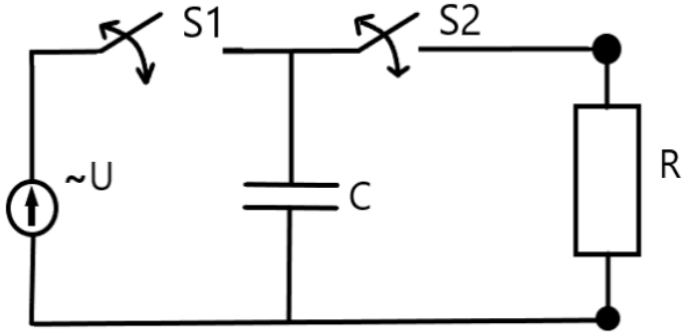


Рис. 1. Схема преобразования реактивной мощности

Этапы работы над темой:

1) исследовать процессы преобразования реактивной мощности в активную;

2) разработать схемные решения;

3) разработать алгоритм системы управления преобразованием;

4) на основе пунктов 2 и 3 разработать устройство.

В заключение хотелось бы отметить, что исследование и разработка устройства по преобразованию реактивной мощности в активную может помочь нам решить следующие проблемы, такие как:

1) снижение уровня энергопотребления и расходов на неё;

2) возможность перевода домов частного сектора на электрическое отопление, а также снижение вредных выбросов, поступающих в атмосферу, что очень актуально для нашего города и края;

3) снижение нагрузки на энергетические системы;

4) возможный полный переход на электротранспорт, для которого будут необходимы новые схемы электроснабжения и большое количество электроэнергии;

5) обеспечение промышленных производств необходимым количеством электроэнергии и их оптимизация.

Список источников

1. Что такое активная и реактивная мощность. 2019 [Электронный ресурс]. URL: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_ru.pdf (дата обращения: 02.09.2023).

2. URL: https://electrical-engineering-portal.com/how-reactive-power-is-helpful-to-maintain-a-system-healthy#Voltage%20must%20be%20maintained%20within%20Acceptable%20Levels (дата обращения: 31.08.2023).

3. Практическое использование реактивной мощности. 2014 [Электронный ресурс]. URL: http://sadeyna.ru/article/prakticheskoe-ispolzovanie-reaktivnoj-ehnergii (дата обращения: 29.08.2023).

4. Глобальный спрос на электроэнергию в 2024 году вырастет на 3,3 %. 2023 [Электронный ресурс]. URL: https://gmk.center/news/globalnyj-spros-na-elektroenergiju-v-2024-godu-vyrastet-na-3-3 (дата обращения: 10.09.2023).

5. Глобальные продажи электромобилей в 2022 году выросли на 55 % до 10,5 миллионов, 2023 [Электронный ресурс]. URL: https://dzen.ru/a/ZCH5fMXqY3sjw4QC (дата обращения: 10.09.2023).

УДК 620.91

МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ В СОЛНЕЧНО-ДИЗЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ГЕНЕРАЦИИ

В. А. Тремясов[1], А. М. Ондар[2]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[2]ondar0103@icloud.com

Использование накопителей энергии в автономных солнечно-дизельных системах позволяет сгладить дисбаланс генерируемой и потребляемой мощности, обеспечивая тем самым стабильность работы системы. В автономных системах электроснабжения (АСЭС) целесообразно использовать аккумуляторные батареи (АБ), которые выгодно отличаются от других типов накопителей энергии, имея хорошие эксплуатационные характеристики и относительно невысокую стоимость. Варианты компоновки накопительных звеньев АСЭС формируются в зависимости от состава генерирующего оборудования и режимов его работы. Например, в фотоэлектрических установках с ярко выраженными циклическими режимами заряда/разряда необходимо использовать АБ типа *OPxS* (заливные свинцово-кислотные батареи корпусного типа), *FLA* (заливные свинцово-кислотные АБ), *LCB* (свинцово-кислотные АБ), *LCB* (свинцово-угольные АБ) или *LIB* (литийионные АБ).

В работах [1–7] приведены методы оценки надежности для солнечных систем с аккумулированием. В этих работах все сфокусировано на использовании приближенных аналитических методов. Основным недостатком этих подходов являются модели надежности.

Целью данной статьи является разработка математической модели надежности АБ, работающей параллельно с фотоэлектрическими преобразователями (ФЭП) и дизель-генераторами (ДГ) и отражающей последовательность исправных и неисправных состояний АБ.

Основные вероятностные показатели надежности генерирующих источников, используемые в работе: коэффициент вынужденного простоя (FOR), о. е.; интенсивность отказов (λ), 1/год; интенсивность восстановления (μ), 1/ч; средняя наработка до отказа (*MTTF)*, ч; среднее время ремонта (*MTTR)*, ч; ожидаемая потеря нагрузки (*LOLE)*, ч/год.

© Тремясов В. А., Ондар А. М., 2024

LOLE – оценка математического ожидания числа часов в расчетный интервал времени, для которых пик нагрузки превышает мощность, выдаваемую генерирующими агрегатами в АСЭС.

Показателем, связанным с надежностью и аккумулированием электроэнергии, является ожидаемое энергоснабжение устройства аккумулирования энергии (EESBSF), кВт·ч/год.

Объектом исследования является автономная энергосистема. Предмет исследования – метод анализа надежности АБ, входящей в состав АСЭС.

Предложена марковская модель надежности АБ, основанная на предположении, что каждая батарея в группе последовательно находится в исправных и неисправных состояниях. Диаграмма мультисостояний АБ приведена на рис. 1.

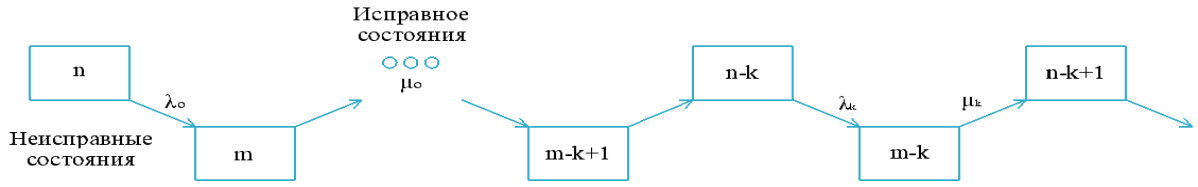


Рис. 1. Марковская модель мультисостояний АБ

Используя известные методы, можно получить дифференциальные уравнения состояний этой системы АБ:

$$\frac{dP_{n-k}(t)}{dt} = -\lambda_k P_{n-k}(t) + \mu_{k-1} N_{m-k+1}(t), \quad (1)$$

$$\frac{dP_{m-k}(t)}{dt} = -\mu_k P_{n-k}(t) + \lambda_{k-1} P_{n-k}(t). \quad (2)$$

Начальное условие имеет вид: $P_{m\text{-}k}(0) = 0$, $k = 1, 2, 3, \ldots$, $P_n(0) = 0$.

Решение уравнений (1) и (2) для случая постоянных значений $\lambda_k = \lambda = \text{const}$ и $\mu_k = \mu = \text{const}$ приведено в работе [8]. Однако легко убедиться, что подобное ограничение, налагаемое на λk и μ_k, не всегда соответствует реальной действительности. Более общее решение можно получить, используя любой из методов численного интегрирования, например, метод Эйлера или метод Рунге – Кутты. После того, как будут получены вероятности всех состояний, коэффициент вынужденного простоя группы АБ определяется с помощью формулы

$$FOR = \sum_{k=0}^{k\max} P_{m-k}(t), \quad (3)$$

Поскольку вероятности зависят от выбранного значения k_{max}, при большом значении k_{max} можно получить значение FOR, близкое к истинному.

В статье в качестве накопителя электроэнергии предложено использовать АБ типа *OPzS*, емкостью 1000 А · ч и с номинальным напряжением 2 В. АБ этого типа имеют от 1 500 до 2 000 циклов заряда-разряда при глубине разряда 80 %.

В работе рассматривается стандартная схема подключения АБ на 48 В, что соответствует 24 аккумуляторным батареям, соединенным последовательно, общей емкостью 48 кВ·ч. К этой группе АБ могут подключаться другие сборки аналогичной емкости.

На основе метода [9] исследована надежность конфигурации АСЭС (табл. 1) с солнечно-дизельной генерацией, емкостями средства аккумулирования. Структурная схема АСЭС приведена на рис. 2.

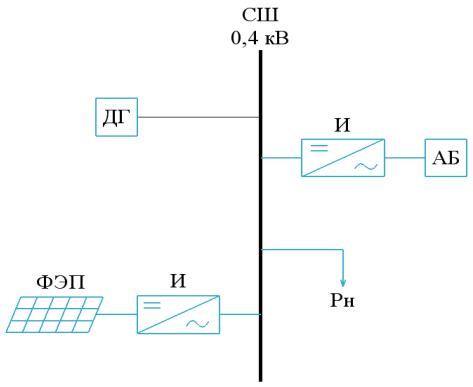


Рис. 2. Структурная схема АСЭС

Таблица 1

Число и мощности генерирующих агрегатов

Тип генерации и/или аккумулирования при пиковой нагрузке в 40 кВт	Количество генераторов и/или групп аккумуляторов	Производительность генераторов и/или аккумуляторов, кВт/кВт·ч
ДГ	2	20
ФЭП	2	30
АБ	6	288

Из данных (рис. 3, *а*) следует, что добавление мощности аккумулирования энергии значительно улучшает надежность АСЭС независимо от типа источников энергии, установленных в системе. Ожидаемая энергия, поставляемая в средства аккумулирования (*EESBSF*), показана (рис. 3, *б*) в зависимости от величины аккумулирования энергии.

Проведенные исследования показали, что минимальная выгода получается, если величина аккумулирования энергии превышает определенное значение (примерно 400 кВт·ч). Поэтому целесообразно пытаться улучшить надежность АСЭС, используя дополнительные средства аккумулиро-

вания энергии для системы, без учета влияния возобновляемых источников энергии.

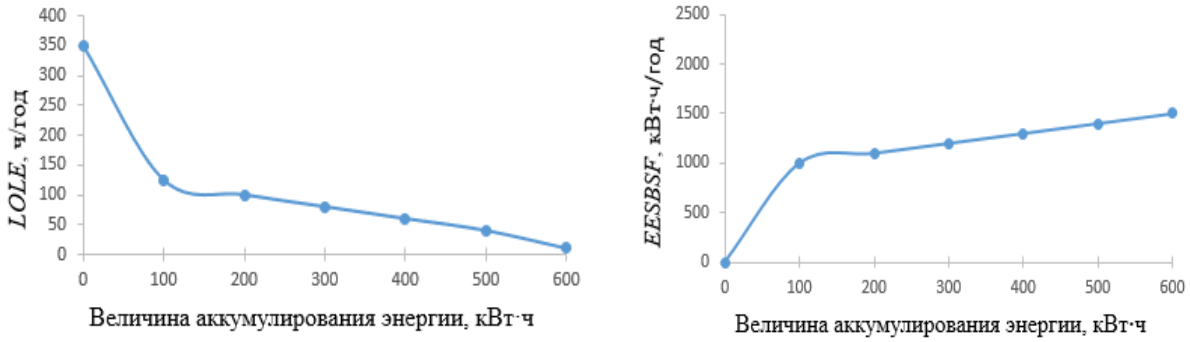
В ходе выполнения исследования впервые предложена и реализована модель надежности аккумуляторной батареи, входящей в состав АСЭС.

Таблица 2

Данные о надежности генерирующих агрегатов АСЭС

Тип генерации и/или аккумулирования	Коэффициент вынужденного простоя FOE	Интенсивность отказа λ, 1/год	Среднее время до отказа генерирующего агрегата *MTTF*	Среднее время на ремонт *MTTR*, ч
ДГ	5	9,2	950	5
ФЭП	3	3	2910	90
АБ	*	0,003	*	13

Примечание: * – данные отсутствуют.



а *б*

Рис. 3. Влияние величины аккумулирования энергии:
а – на вероятность потери нагрузки (*LOLE*); *б* – ожидаемое энергоснабжение объекта аккумулирования энергии (EESBSF)

Полученные в работе решения могут быть использованы на практике при проектировании АСЭС на базе возобновляемых источников энергии.

Список источников

1. Perzhansky S. M., Karamov D. N., Achitaev A. A. A Model of Reliability Optimiization of a Stand-Alone Electric Power System with Constraints on Dynamic Stability of the Wind Turbine // Journal of Siberian Federal University. Engineering&Technologies. 2021. N 14 (1). P. 55–71.

2. Abouzahr I., Ramakumar R. Loss of power supply probability of stand-alone wind electric conversion systems: A closed form solution approach // IEEE Transactions on Energy Conversion. 1990. Vol. 5, N 3. P. 445–451.

3. Abouzahr I., Ramakumar R. Loss of power supply probability of stand-alone wind electric conversion systems: A closed form solution approach // IEEE Transactions on Energy Conversion. 1991. Vol. 6, N 1. P. 1–8.

4. Gavanidao E. S., Bakirtzis A. G., Dokopoulos P. S. A probabilistic method for the evaluation of the performance of wind-diesel energy systems // IEEE Transactions on Energy Conversions. 1992. Vol. 7, N 3. P. 766–772.

5. Karaki S. H., Chedid R. B., Ramadan R. Probabilistic performance assessment of wind energy conversion system // IEEE Transactions on Energy Conversions. 1999. Vol. 14, N 2. P. 217–224.

6. Karaki S. H., Chedid R. B., Ramadan R. «Probabilistic performance assessment of autonomous solar-wind energy conversion systems // IEEE Transactions on Energy Conversions. 1999. Vol. 14, N 3. P. 776–772.

7. Bagen. Reliability and Cost/Worth Evaluation of Generating Systems Utilizing Wind and Solar Energy PhD. thesis, University of Saskatchewan. 2005.

8. Диллон Б., Синг Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем : пер с англ. М. : Мир, 1984. 318 с.

9. Тремясов В. А., Кривенко Т. В. Вероятностный метод анализа надежности автономного энергокомплекса на основе возобновляемых источников энергии // Материалы IX Межд. НТК «Энергетика: управления, качество и эффективность использования энергоресурсов», 2019, Благовещенск, Россия. Благовещенск: АмурГУ, 2019. С. 50–55.

10. Тремясов В. А., Кривенко Т. В. Теория надежности в энергетике. Надежность систем генерации, использующих ветровую и солнечную энергию : учеб. пособие / В. А. Тремясов, Т. В. Кривенко. Красноярск : Сиб.федер. ун-т, 2017. 164 с.

УДК 669

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЛИТЬЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

М. Ю. Хацаюк[1], Э. Р. Винтер[2]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]maxhac@ya.ru

Введение

Технология литья в ЭМК впервые была предложена советским ученым Гецелевым в 1972 г. [1]. Последующие 30 лет разработкой технологии и её внедрением занимались коллективы из США, Франции, Кореи, Китая и других стран [2–4]. В 1992 г. японскими учеными были проведены исследования [5] по электромагнитному литью цилиндрических слитков диаметром 30–60 мм. В результате исследования микроструктуры литых образцов было обнаружено, что дендритный параметр ячейки составляет 5–15 мкм, а компоненты сплава распределяются равномерно в радиальном направлении. Данное исследование показало преимущества электромагнитного литья слитков небольшого диаметра, что является результирующим действием прямого струйного охлаждения и МГД-воздействия на жидкую фазу слитка. Российские ученые продолжили исследования в данном направлении и разработали технологию Elmacast [6, 7], которая позволяет получать алюминиевые слитки диметром от 5 до 30 мм, характеризующиеся микродисперсной структурой, низким содержанием неметаллических включений и, как следствие, высокими показателями физико-механических характеристик.

При этом относительно новая технология Elmacast, которая имеет другое исполнение разливочного узла в отличие от традиционной гецелевской конструкции, в основном была исследована теоретическим путем при существенных допущениях [6]. В результате четкая связь между расчетными данными, рабочими параметрами литейной машины и свойствами получаемой литейной продукции так и не была установлена. С учетом возможности получения с помощью технологии Elmacast высококачественной продукции из алюминиевых сплавов, имеющей высокий спрос в российской и мировой промышленности, теоретические и эксперимен-

© Хацаюк М. Ю., Винтер Э. Р., 2024

тальные исследования по развитию данной технологии являются актуальными.

Целью работы является исследование режимов формирования алюминиевого слитка при литье в высокочастотное электромагнитное поле.

Методы исследования

Анализ режимов литья проводится с помощью численного моделирования с применением вычислительного программного комплекса FLUENT. Подробное описание постановки задачи математического моделирования можно найти в работах [8, 9]. В целом задача состоит в совместном решении уравнения на векторный магнитный потенциал и уравнений Навье – Стокса с учетом наличия межфазной границы «металл – воздух» и кристаллизации расплава.

Для оценки адекватности построенной математической модели и верификации результатов численного моделирования в рамках работы проводится сопоставление результатов численного анализа с геометрическими и структурными характеристиками литых заготовок, полученных методом электромагнитного литья. Подробное описание экспериментального литейного комплекса с электромагнитным кристаллизатором, на котором получены литые заготовки, приведено в работе [6]. Литье осуществляется при параметрах, которые по результатам расчета обеспечивают стабильное формирование слитка диаметром приблизительно 30 мм: ток индуктора 2кА; частота 20 кГц; скорость литья 5 мм/с Температура разливки расплава из плавильной печи поддерживалась в диапазоне 720–730 °С. Уровень высоты жидкой фазы поддерживался в ручном режиме.

Анализ результатов

Анализ технологии указывает на три характерные стадии процесса: старт литья, режим стабильного литья, окончание литья.

Старт литья. Интерес представляет время переходного процесса, которое в первую очередь характеризуется колебаниями диаметра слитка и положением фронта кристаллизации. Традиционно старт литья осуществляется следующим образом: при включенном струйном охлаждении литейная оснастка вводится в дозирующий носик, в объём носика на затравку подается расплав до достижения рабочего уровня высоты жидкой фазы. Затем включается привод, который осуществляет перемещение затравки вниз и дальнейшее вытягивание слитка. Результаты численного моделирования данного процесса показаны на рис. 1. Как видно, в момент перемещения положения фронта кристаллизации ниже отверстия разливочного носика начинают появляться наплывы на поверхности слитка. Время стабилизации диаметра слитка составляет приблизительно 7 секунд с момента старта литья. Визуально для стабилизации положения фронта кристаллизации требуется примерно такое же время.

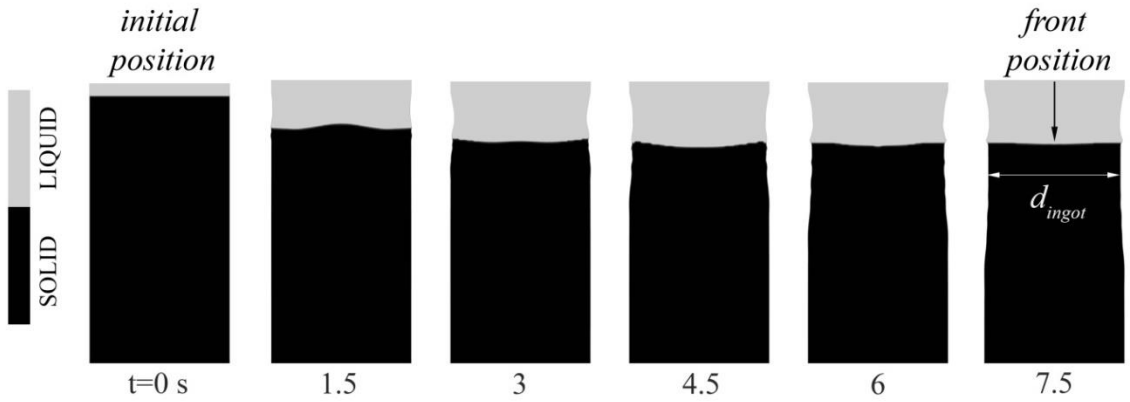


Рис. 1. Расчетная динамика старта литья

Однако окончательное положение фронта кристаллизации связано с установлением теплового баланса в системе, наступление которого может занимать больше времени. Так, график на рис. 2, а, иллюстрирует динамику положения фронта кристаллизации и диаметра слитка во времени. Таким образом, для полной стабилизации положения фронта кристаллизации и диаметра слитка требуется приблизительно 25 секунд после начала старта литья.

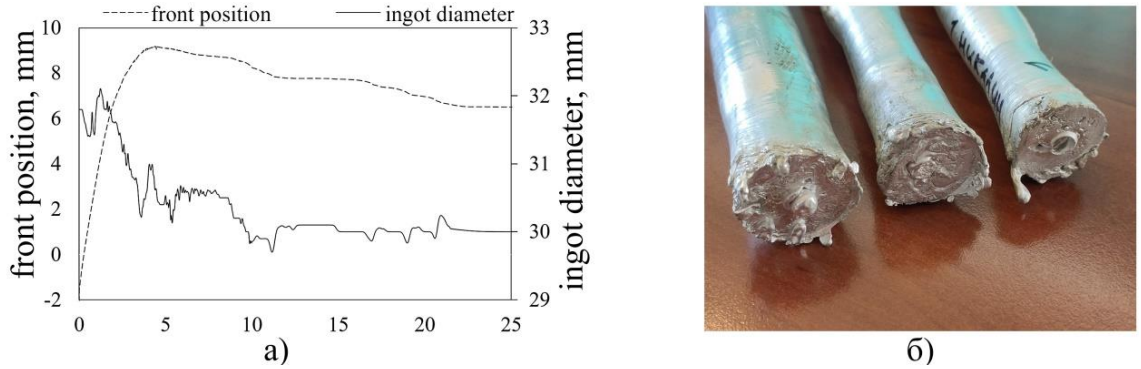
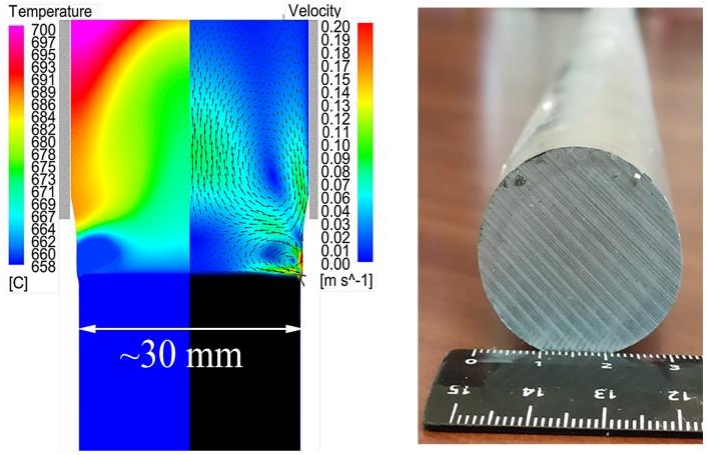


Рис. 2. Расчетная динамика положения фронта кристаллизации и диаметра слитка (*а*) и вид донника литых заготовок (*б*)

Из рис. 2, *б*, можно видеть, что область донника литых заготовок, полученных на экспериментальной установке, имеет небольшие асимметричные наплывы, вызванные скачком гидростатического давления в момент пуска металла. Длина зоны с наплывами и составляет от 30 до 40 мм. Как было показано при анализе результатов моделирования старта литья (рис. 1), существенные колебания диаметра слитка прекращаются приблизительно после 7 секунд после старта литья. Таким образом, согласно результатам моделирования, длина зоны с наплывами, образованными при старте литья, составляет приблизительно 35 мм, что хорошо согласуется с характеристиками отлитых слитков.



а) б)

Рис. 3. Расчетная структура термогидродинамических течений в кристаллизующемся слитке (а) и форма литого слитка (б)

Режим стабильного литья. Непосредственно процесс литья сопровождается возникновением вынужденных гидродинамических потоков расплава в жидкой фазе кристаллизующегося слитка под действием электромагнитных сил. Сохраняя положение фронта кристаллизации на таком уровне, чтобы высота жидкой фазы составляла h_{liq}=(40±0.5) мм, был найден режим стабильного литья (ток, скорость вытягивания), при котором обеспечивается формирование слитка диаметром приблизительно 30 мм.

На рис. 3, *а,* показана структура термогидродинамических потоков в жидкой фазе слитка. В результате действия вихревой ЭМ силы образуется двухконтурная циркуляция расплава, а фронт кристаллизации омывается гидродинамическим потоком, направленным от центра к периферии, со скоростью 5–25 мм/с. При этом фронт кристаллизации имеет плоскую форму. Литые слитки, один из которых показан на рис. 3, *б,* имеют форму, близкую к идеальной цилиндрической с диметром 32–33 мм. Данная разница диаметра слитка в расчете и эксперименте может быть обусловлена тем, что уровень расплава в разливочном узле поддерживался вручную, результате чего фактическая величина столба жидкого металла может быть выше той, что принята в расчете.

Одной из наиболее важных особенностей технологии Elmacast является скорость охлаждения. Как видно из представленных результатов (рис. 4, *а*), скорость охлаждения лежит в интервале 125–240 К/с, что соответствует скорости охлаждения при литье прутковой заготовки 6–10 мм в кристаллизатор скольжения. Согласно [10], скорость охлаждения величиной от 80 до 200 К/с позволяет формировать структуру с дендритным размером ячейки 6–15 мкм (рис. 4, *б*). Данные расчетные параметры хорошо согласуются с микроструктурой литых образцов (рис. 4, *в*).

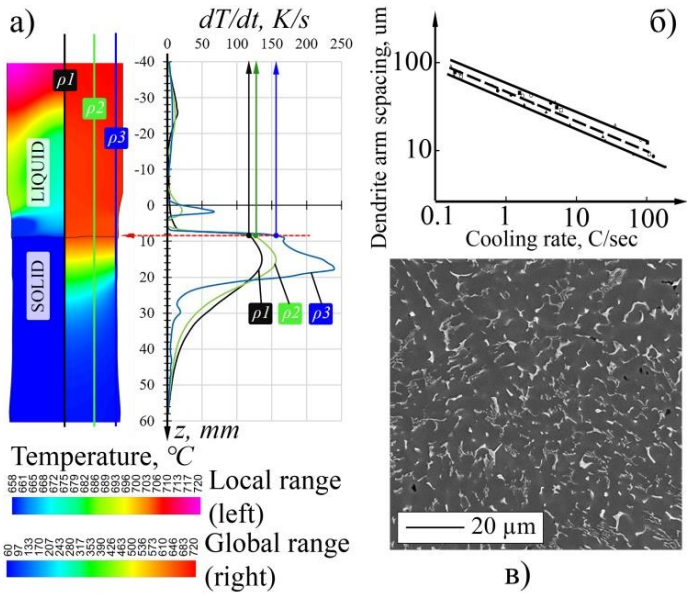


Рис. 4. Расчетное распределение скорости охлаждения слитка (а), зависимость дендритного параметра от скорости охлаждения [10] и микроструктура литого образца

Окончание литья. Стадия окончания литья сопряжена со снижением уровня расплава в лотке, вплоть до его полного опустошения, т. е. процесс завершается естественным образом, без необходимости вмешательства оператора или системы управления. Динамика данного процесса показана на рис. 5, *а*.

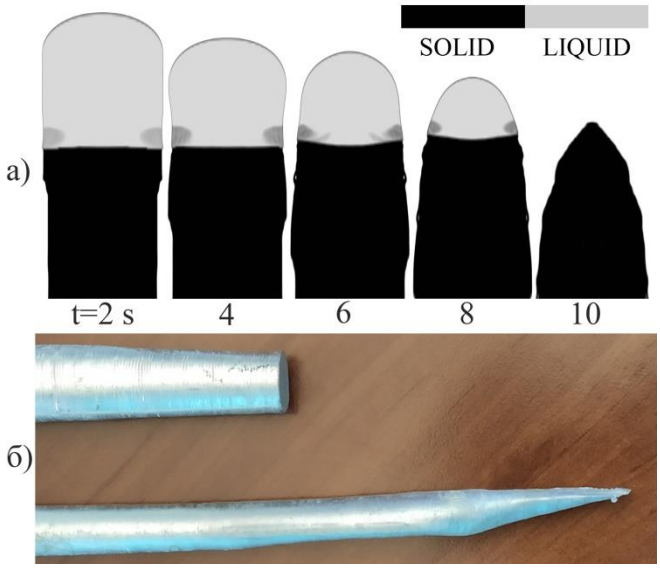


Рис. 5. Расчетная динамика окончания литья слитка (а) и форма литника литых заготовок (б)

При опустошении разливочного лотка в процессе вытягивания слитка образуется мениск жидкой фазы. Так как в процессе вытягивания высота жидкой фазы уменьшается, то при сохранении электромагнитного дав-

ления можно наблюдать постепенное ужимание кристаллизующегося слитка. В результате, расчет иллюстрирует, что литник слитка имеет заостренную форму. Форма литника слитка, полученного на экспериментальной установке показана на рис. 5, *б*. Видно, что литник имеет также заостренную форму, однако остроконечная вершина литника смещена относительно оси слитка. Данный факт может быть обусловлен неоднородным распределением электромагнитного поля одновитковой катушки кристаллизатора, что выражается в неравномерном электромагнитном давлении в азимутальном направлении.

Заключение

Путем численного моделирования были выявлены закономерности формирования литой заготовки при кристаллизации в электромагнитном поле в различных стадиях процесса литья. Сравнение результатов численного анализа с геометрическими и структурными характеристиками литых заготовок, полученных методом электромагнитного литья, показало удовлетворительное совпадение.

Список источников

1. Getselev Z. N. Casting in an electromagnetic field // JOM. 1971. P. 38–39.

2. Sakane J.. Li B. Q., Evans J. W. Mathematical modeling of meniscus profile and melt flow in electromagnetic casters // Metallurgical Transactions B. 1988. P. 397–408.

3. Vives C., Ricou R. Experimental study of continuous electromagnetic casting of aluminum alloys // Metallurgical Transactions B. 1985. P. 377–384.

4. Hao H., Zhang X., Park J., Kim H., Jin J. Twin-strand technology and microstructure analysis for the electromagnetic near net-shape casting of aluminum alloy // Journal of Materials Processing Technology. 2003. P. 526–531.

5. Furui M., Kojima Y., Matsuo M. Fabrication of small aluminum ingot by electromagnetic casting // ISIJ international. 1993. P. 400–404.

6. Первухин М. В., Тимофеев В. Н. Современные электротехнологии для производства высококачественных алюминиевых сплавов : монография. Красноярск : Сиб. федер. ун-т., 2015. С. 156.

7. Elmacast. URL: http://elmacast.com.

8. Minakov A. V., Pervukhin M. V., Platonov D. V., Khatsayuk M. Y. Mathematical model and numerical simulation of aluminum casting and solidification in magnetic fields with allowance for free surface dynamics // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2015. P. 2066–2079.

9. Khatsayuk M., Vinter E., Timofeev V., Belov N., Sergeev N., Pervukhin M. Numerical Simulation of Process of Electromagnetic Casting and Technology Features // Metallurgical and Materials Transactions B. 2023. P. 1–16.

10. Flemings M. C. Solidification processing // Metallurgical and Materials Transactions B. 1974. P. 2121–2134.

УДК 621.3

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМ НА БАЗЕ ИНТЕГРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Н. И. Щуров[1], Д. П. Кравченко[2]

[1, 2]Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия
[2]kradap@gmail.com

За последние годы произошел фундаментальный сдвиг в области применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергосистемах, в связи с существенным улучшением технических характеристик фотоэлектрических преобразователей и накопителей энергии, а также значительным снижением их стоимости [1]. В результате сформировался устойчивый мировой тренд по переходу от классических централизованных энергосистем, где основным источником являются различные типы углеводородов, к децентрализованным (Smart Grid) сетям с интегрированными ВИЭ. Например, за 2021 г. установленная мощность повысилась на 7 %, что составило рекордное увеличение на 522 ТВт·ч [2]. Согласно статистическим данным, представленным консалтинговой компанией Rystad Energy, в 2022 г. впервые глобальные инвестиции в ВИЭ превысят вложения в нефть и газ [3].

Применение ВИЭ в составе локальных (автономных) энергоустановок, удаленных от Единой энергетической системы (ЕЭС), существенно повышает как энергоэффективность локальной энергосистемы за счет снижения расходов топливных энергоресурсов, так и повышает ее надежность [4]. Особенно остро проблема экономии топливных энергоресурсов стоит в труднодоступных регионах РФ и районах Арктической зоны, где децентрализованные объекты генерации работают преимущественно на привозном топливе, поставляемом в короткий период навигации, что накладывает объективные ограничения на уровень развития экономики и качество жизни населения этих территорий [5]. Указанные проблемы возможно решить (или минимизировать влияние) путем интеграции ВИЭ и создания гибридных энергоустановок.

© Щуров Н. И., Кравченко Д. П., 2024

Описание структуры автономной гибридной энергоустановки

На сегодняшний день выделяется несколько ключевых топологий построения гибридных систем: с общей шиной переменного тока, с общей шиной постоянного тока и смешанный тип. Для объектов локальной генерации с преимущественной дневной нагрузкой более 150 кВт согласно [6] и [7] наиболее экономически выгодной и эффективной является топология с общей шиной переменного тока, благодаря легкой масштабируемости системы и возможности размещения ВИЭ на отдаленной от основного генерирующего оборудования территории.

С целью детализации режимов работы гибридной энергоустановки кратко опишем ее компонентный состав. Структура автономной гибридной энергоустановки (АГЭУ) с общей шиной переменного тока представлена четырьмя модулями (рис. 1).

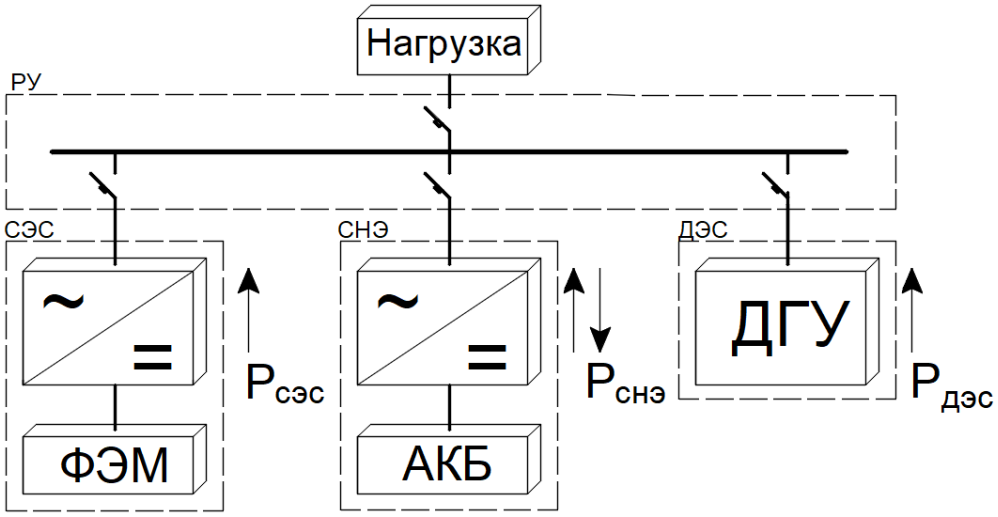


Рис. 1. Структурная схема автономной гибридной энергоустановки с общей шиной переменного тока

В качестве генерирующей установки на базе ВИЭ в АГЭУ используется солнечная электростанция (СЭС), являющаяся источником мощности в энергосистеме и содержащая наиболее простые сетевые фотоэлектрические инверторы, ведомые сетью. Функции накопления электроэнергии выполняет СНЭ на базе электрохимических аккумуляторных батарей (АКБ) являющаяся также источником мощности или напряжения, переходы между которыми осуществляет автоматизированная система управления АГЭУ. Основная генерирующая установка на базе топливных энергоресурсов, в состав которой интегрируются ВИЭ, представлена дизельной электростанцией (ДЭС). А блок распределительного устройства (РУ) в структуре АГЭУ выполняет функции преобразования и согласования уровней напряжений, включает как существующие трансформаторные подстанции локального объекта генерации, так и комплектные интегрируемые модули.

Описанные структура и топология АГЭУ позволяет реализовать широкий спектр сценариев управления и режимов работы энергообъекта, направленных не только на сокращение расходов топливных энергоресурсов (включая их транспортировку до объекта генерации), но и повышение надежности энергосистемы и продления сроков службы основного генерирующего оборудования ДЭС [8].

Режимы работы автономной гибридной энергоустановки

Режим ограничения скорости изменения мощности генерации. Уровень вырабатываемой мощности СЭС пропорционален уровню инсоляции. Переменная облачность погодных условий может сопровождаться периодическим и быстрым изменением инсоляции, что закономерно влечет резкое изменение величины генерируемой мощности СЭС. При значительной доле выработки СЭС в энергосистеме возникает переходный процесс, характеризующийся изменением напряжения, частоты и создающий эффекты, нежелательные для основного генерирующего оборудования энергосистемы. С целью сглаживания указанных переходных процессов СНЭ реализует функцию компенсации пиков (как максимальных, так и минимальных) мощности генерации СЭС. При активации функции система управления АГЭУ задает плавно изменяющийся график генерируемой мощности для общей сети, а разницу энергии компенсирует за счет разряда батарей при сбросе мощности генерации СЭС или заряда батарей при обратном явлении. Действие режима ограничения скорости изменения мощности представлено на графике рис. 2, *а*. *Режим ограничения мощности* применяется для компенсации пиков потребления (как максимума, так и минимума) с целью ограничения мощности, потребляемой от сети, в заданном диапазоне.

Наглядная работа режима представлена на рис. 2, *б*. При изменении мощности до момента времени t1, мощность сети и нагрузки совпадают. В момент превышения мощности нагрузки порога Pmax_нач преобразователь СНЭ начинает компенсировать разницу за счет энергии АКБ, и мощность сети ограничивается на уровне Pmax_нач. До тех пор, пока мощность нагрузки выше порога Pmax_нач, преобразователь отдает энергию АКБ (зеленая зона на графике). Когда мощность нагрузки ниже порога Pmax_нач, но выше Pmax_кон (от t2 до t3), преобразователь принимает энергию сети, заряжая АКБ, благодаря чему мощность сети стабилизирована на уровне Pmax_нач. При переходе мощности нагрузки ниже порога Pmax_кон преобразователь отключается, и мощность сети становится равной мощности нагрузки. Аналогично алгоритм работает на нижнем пороге ограничения.

Автономный режим используется для обеспечения энергоснабжения потребителей при кратковременных перерывах в работе ДЭС, а также при совместной работе СНЭ с СЭС, когда СЭС вырабатывает достаточное ко-

личество мощности для покрытия нагрузки сети, а СНЭ включается в режиме источника напряжения, задавая параметры сети и сглаживая колебания выработки мощности СЭС.

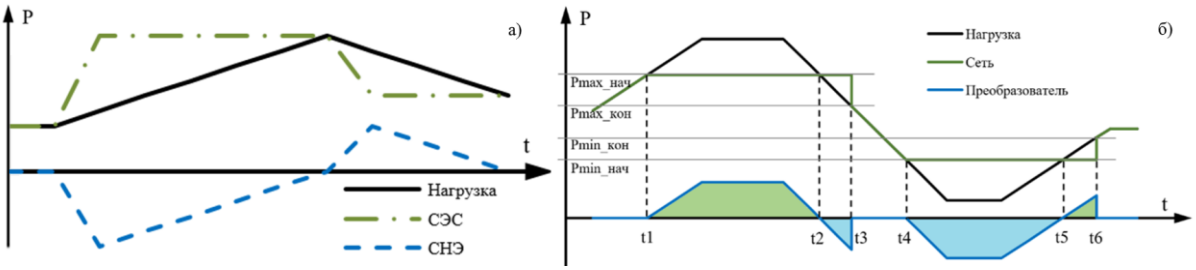


Рис. 2. Характеристика работы режима ограничения скорости изменения мощности генерации (а) и режима ограничения мощности (б)

Режим ограничения СЭС. Применяется в условиях избытка солнечной инсоляции, невозможности использования СНЭ для приема электроэнергии (по причине аварии, технического обслуживания) и невысокого уровня нагрузки для передачи ЭЭ в сеть. Особенность работы дизель-генераторных установок (ДГУ) в том, что оптимальным диапазоном их нагрузки при работе является интервал от 0,3·Рном до 1 Рном. В указанных условиях нагрузка на ДЭС может опуститься ниже приведенного диапазона, что приведет к нежелательным условиям эксплуатации и нерациональному расходованию топлива, поэтому СЭС нужно ограничивать так, чтобы лишние ДГУ были выведены системой управления, а остальные стали нагружены на 30 % от номинальной мощности (или заданным оператором процентом нагрузки). На рис. 3 представлена работа описанного алгоритма ограничения СЭС.

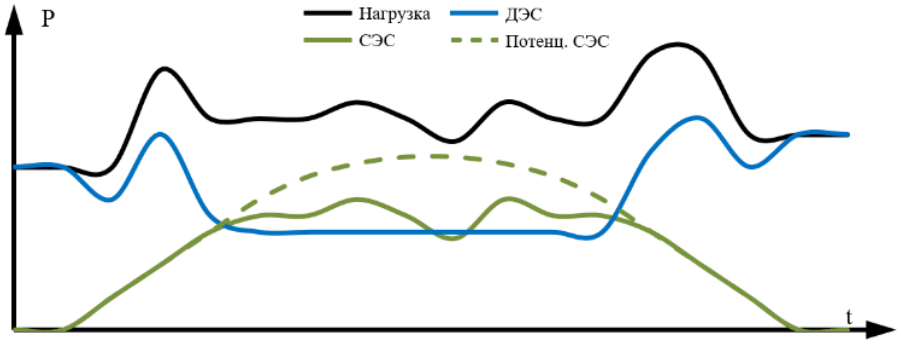


Рис. 3. График работы алгоритма ограничения мощности СЭС

Описанный комплекс алгоритмов работы успешно интегрирован и функционирует в рамках, модернизированных ДЭС, осуществляющих электроснабжение удаленных от ЕЭС поселков на территории Чукотского автономного округа и Республики Тыва. В качестве примера реализации режимов работы АГЭУ на рис. 4 представлен график распределения мощ-

ности генерирующего оборудования в течение суток в поселке Чукотского автономного округа (численность 300 человек). Установленная мощность представленной АГЭУ 880 кВт, из которых мощность СНЭ 100 кВт, а ФЭС 160 кВт.

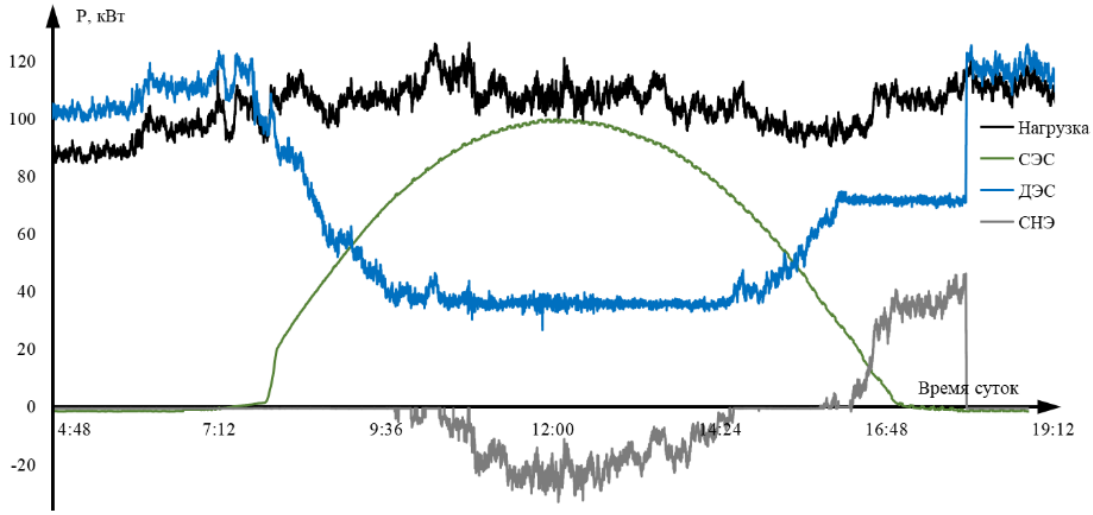


Рис. 4. График распределения мощности генерирующего оборудования АГЭУ в течение суток в осенний период

График распределения мощности показывает, что при достижении заданного настройками алгоритмов уровня нагрузки на ДЭС (с 9:38), СНЭ начинает накапливать заряд, а при снижении генерации от СЭС (с 15:45), компенсирует поток мощности ДЭС, ограничивая выработку дизель-генераторов на заданном настройками уровне.

Выводы

Описанные топология и режимы работы АГЭУ позволяют:

Реализовать механизм экономии топливных энергоресурсов за счет генерации от ВИЭ, мощность и тип которых могут быть подобраны исходя из условий эксплуатации. Так, реализованная и прошедшая опытную эксплуатацию АГЭУ позволила сократить среднегодовой расход топлива на 34 %, а на АГЭУ в Республике Тыва на 45 %.

Повысить срок службы основанного генерирующего оборудования за счет стабилизации его уровня нагрузки системой накопления энергии и ВИЭ. При этом достигается повышение надежности всего энергообъекта. В реализованных системах участие оперативного персонала сведено к минимуму, от него требуется проведение технического обслуживания элементов системы и периодическая настройка параметров режимов работы АГЭУ. В остальном автоматизированная система управления способна самостоятельно адаптироваться под текущие условия эксплуатации и управлять режимами, так чтобы обеспечить максимальную экономию топливных энергоресурсов и стабильность работы энергосистемы.

Обеспечить автономную работу энергообъекта независимо от состояний основного генерирующего оборудования или ЕЭС. Применительно к разработанным системам в Чукотском автономного округе, несмотря на суровые климатические условия, в летний период удалось обеспечить работу АГЭУ от СНЭ и СЭС в течение всего светового дня и сократить часы работы дизель-генераторных установок в среднем с 24 до 5 ч.

Организовать масштабируемость системы. В зависимости от условий представленную топологию возможно реализовать в виде контейнерного решения со всем перечисленным генерирующим оборудованием либо развернуть на базе существующей электростанции, разместив СНЭ и СЭС в виде блочно-модульных зданий.

Список источников

1. Levelized cost of energy by technology // Our World in Data. URL: https://ourworldindata.org (дата обращения: 10.11.2022).

2. World Energy Outlook 2021 // International Energy Agency. URL: https://iea.org (дата обращения: 07.11.2022).

3. Renewable projects payback time drops to under a year in some places – capital investments shoot up // RystadEnergy. URL: https://www.rystadenergy.com/news/renewable-projects-payback-time-drops-to-under-a-year-in-some-places-capital-inve (дата обращения: 01.11.2022).

4. Родионова М. Е., Селезнева П. С., Юшкова И. В. Энергетика в современном мире. М. : КНОРУС, 2019. 424 с.

5. Иванов А. В., Складчиков А. А., Хренников А. Ю. Развитие электроэнергетики арктических регионов Российской Федерации с учётом использования возобновляемых источников энергии // Российская Арктика. 2021. № 13. С. 62–80.

6. Cramer G., Ibrahim M., Kleinkauf W. PV system technologies // Renewable Energy Focus. 2004. № 5. С. 38–42.

7. Tyagunov M. Distributed Energy System's is Future of the World's Power Industry // Proc. II Intern. Conf. Appl. Information Technology to Renewable Energy Processes and Systems. Amman, 2017. Pp. 113–117.

8. Илюшин П. В., Шавловский С. В. Принципы построения систем управления гибридными СНЭЭ на основе детерминированного подхода в изолированных промышленных энергорайонах // Релейная защита и автоматизация. 2022. № 3. С. 30–40.

Подсекция 2

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 620.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ШЛАКОВАНИЯ ПРИ СОВМЕСТНОМ СЖИГАНИИ УГЛЯ С БИОМАССОЙ

В. М. Антолиновская[1], Н. А. Землянский[2], П. А. Челнокова[3]

[1, 2, 3]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[2] nikzemln@mail.ru

В качестве энергетических топлив для выработки тепловой и электрической энергии широко используются угли. При сжигании твёрдых ископаемых топлив образовывается большое количество вредных выбросов и золы, которые негативно воздействуют на окружающую среду. Меньше вредных газообразных веществ образовывается при сжигании биомассы, но полный переход на сжигание её взамен угля затрудняется из-за отсутствия больших запасов, проблем с доставкой и хранением.Для решения этой проблемы учёными как в России, так и за рубежом рассматривается возможность перехода на совместное сжигание угля и биомассы [1, 2].

При совместном сжигании биомассы и угля одной из существенных проблем, кроме понижения коэффициента полезного действия и необходимости переоценки теплового расчёта котельного агрегата, при факельном сжигании является образование отложений на поверхностях нагрева. Процесс образования отложений в котельных агрегатах с камерным сжиганием оценивается как склонность топлив к образованию железистых, сульфатно-кальциевых и отложений на основе активных щелочей, согласно отечественной методике [2, 3].

Цель работы – оценка образования отложений при совместном сжигании угля и биомассы.

© Антолиновская В. М., Землянский Н. А., Челнокова П. А., 2024

В качестве объектов исследования были выбраны следующие топлива: 1) бородинский бурый уголь (далее – Б2); 2) лигнин, отход целлюлозно-бумажной продукции (далее – ЛГ); 3) кора лиственницы, отход лесоперерабатывающей промышленности (далее – ЛСТ).

Для дальнейшего исследования нами были определены характеристики топлив согласно стандартам (табл. 1).

С целью определения состава золы топлив был проведён химический анализ (табл. 2). Для экспериментов были выбраны твердотопливные смеси со следующими массовыми пропорциями: Б2 100 %; ЛГ 100 %; ЛСТ 100 %; и Б2 отдельно с биомассами в пропорциях 25:75, 50:50 и 75:25.

Таблица 1

Данные технического и элементного анализа

Топливо	Технический анализ			Элементный состав					Q_i^r, МДж/кг
	W^a, %	A^d, %	V^{daf}, %	C^{daf}, %	H^{daf}, %	N^{daf}, %	S^{daf}, %	O^{daf}, %	
Б2	32,6	9,2	47,3	73,5	5,1	1,0	0,3	20,1	16,1
ЛГ	47,5	6,2	65,9	63,2	5,4	–	0,5	30,9	10,3
ЛСТ	1,8	3,1	74,5	52,9	5,6	–	–	41,5	18,3

Таблица 2

Данные химического анализа

Топливо	Содержание, %							
	SiO2	CaO	K2O	Na2O	Fe2O3	TiO2	MgO	Al_2O_3
Б2	50,7	23,0	0,3	0,2	9,7	0,1	3,1	10,0
ЛГ	22,3	27,4	1,82	–	12,5	0,421	0,869	2,44
ЛСТ	2,92	51,3	7,72	0,62	9,14	0,96	7,53	3,1

Предрасположенность топлив к образованию отложений оценивалась по методике УралВТИ, склонность к железистым отложениям в котельных агрегатах рассчитывалась по формуле

$$R_{\mathrm{Fe}} = 0{,}857 - \frac{0{,}567}{(0{,}9 \cdot S_p^{daf}(100 - A^d)/A^d + 0{,}813 \cdot \mathrm{Fe_2}O_3)}. \quad (1)$$

Склонность к образованию отложений на базе активных щелочей рассчитывалась по формуле

$$R_{\mathrm{Na}} = 0{,}416 \cdot (0{,}95 \cdot \mathrm{Na_2}O - 0.11 \cdot K_2O - 0.05)^{0{,}313}. \quad (2)$$

Склонность к образованию сульфатно-кальциевых отложений рассчитывалась по формуле

$$R_{\mathrm{Ca}} = 0{,}5 \cdot (\mathrm{CaO} \cdot (1 - 0{,}0025A^d) - 0{,}05)^{0{,}22} - P_{\mathrm{Na}}. \quad (3)$$

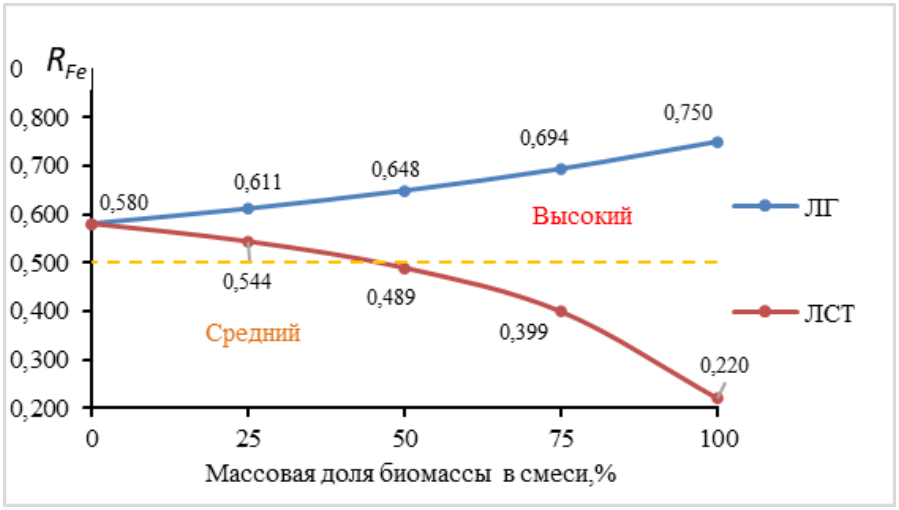


Рис. 1. Склонность к шлакованию на основе железистых отложений

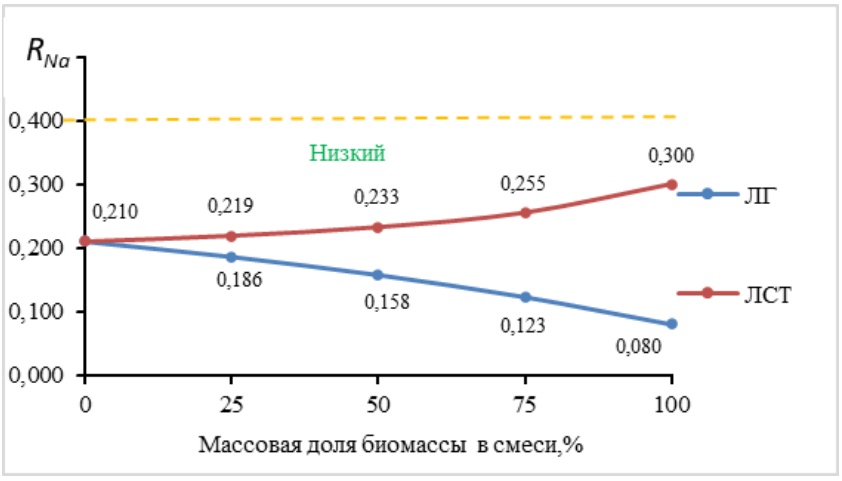


Рис. 2. Склонность к шлакованию на основе активных щелочей

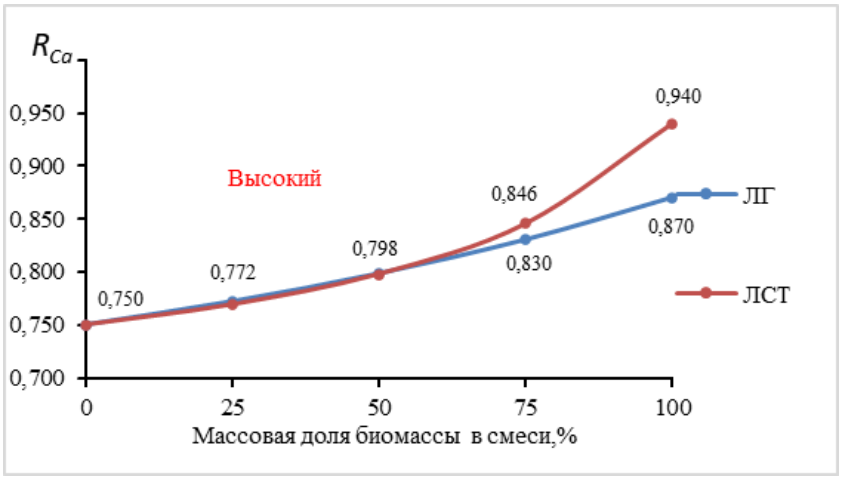


Рис. 3. Склонность к шлакованию
на основе сульфатно-кальциевых отложений

Комплексная оценка образования отложений на трубах внутри топки котла рассчитывалась по формуле

$$R_S = 0{,}707 \cdot (P_{\mathrm{Fe}}^2 + (1 - 0.025 \cdot \mathrm{AB})^2)^{0.5}. \quad (4)$$

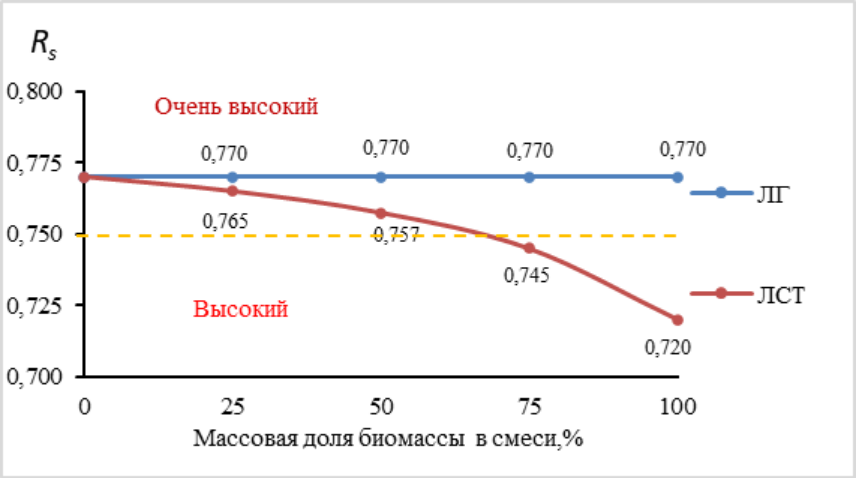


Рис. 4. Комплексная оценка на склонность к шлакованию топочных экранов

По результатам оценки (рис. 1–4) установлено, что при сжигании лигнин имеет очень высокую склонность к образованию железистых отложений из-за высокого содержания серы (0,5 % в исходном виде) и железа (12,5 % в золе), а кора лиственницы имеет высокую склонность к шлакованию на основе сульфатно-кальциевых соединений, что обусловлено содержанием оксида кальция в золе более 50 %, что также может привести к слипанию и затвердеванию золы при контакте с водой.

Добавление более 50 % лигнина к углю повысит индекс R_{Fe} на 30 %, что недопустимо при переходе на сжигание другого топлива, поэтому не рекомендуется совместное сжигание с большей долей лигнина. Для совместного сжигания угля с корой лиственницы понадобится провести мероприятия, исключающие контакт золы с водой, при этом ограничений по образованию отложений внутри котла не выявлено. Среди исследованных пропорций для перехода с наименьшими затратами рекомендуется использовать топливо, состоящее из 50 % лигнина и 50 % бородинского угля. Для повышения экологического эффекта перехода рекомендуется добавлять к углю до 75 % опилок лиственницы, но в таком случае понадобится замена систем мокрого золоудаления.

Список источников

1. Bhuiyan A. A., Blicblau A. S., Islam A. K. M. S., Naser J. A review on thermo-chemical characteristics of coal/biomass co-firing in industrial furnace // J. Energy Inst. 2018. Vol. 91 (1). P. 1–18.

2. Алехнович А. Н., Богомолов В. В., Артемьева Н. В. Совместное факельное сжигание биомасс с углём. // Теплоэнергетика. 2022. № 2. С. 26–33.

3. Скуратов А. П., Козлов С. Г. Топочные процессы при сжигании шлакующихканско-ачинских углей : монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2021. 172 с.

4. Майданик М. Н., Вербовецкий Э. Х., Тугов А. Н. Предварительная оценка возможности перевода котлов тепловых электростанций на сжигание альтернативного угля // Теплоэнергетика. 2021. № 9. С. 33–42.

УДК 620.97

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗДУШНО-АЛЮМИНИЕВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ТОКА В СИСТЕМАХ ОПЕРАТИВНОГО ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

В. И. Белиловец

Сибирский федеральный университет, Красноярск
vitaliy.belilovec@mail.ru

Современные системы теплоснабжения (по требованиям СНиП 2.04.07–86, ГОСТ 30732–2020, СП 41-105–2002) должны обязательно иметь систему оперативного дистанционного контроля (ОДК). Система ОДК предназначена для постоянного мониторинга состояния трубопровода и его изоляционного слоя. Нарушение герметичности трубопровода и намокание изоляции фиксируется при помощи проводника из низколегированной мягкой меди, входящего в состав системы ОДК. Фиксация происходит за счет того, что электрическое сопротивление между медным проводником и стальной трубой существенно снизится при попадании влаги в изоляционный слой. Кроме того, может произойти механический разрыв проводника, его замыкание на стальную трубу. Таким образом, детектор повреждений системы ОДК выдаст соответствующий сигнал. Далее при помощи специального импульсного рефлектометра производится обнаружение места дефекта на участке теплопровода и его устранение.

Системы ОДК требуют подключения к централизованным бесперебойным электрическим сетям. Однако в настоящее время наблюдается тенденция к децентрализации генерации электрической энергии. При таком подходе небольшие электростанции отвечают за свой район или отдельного потребителя. Вместе с тем обозначена тенденция к использованию возобновляемых и экологически чистых источников энергии. Это обусловлено устареванием существующих централизованных сетей, дороговизной их реконструкции и последующей эксплуатации. Свой вклад в децентрализацию и переустройство энергосистем вносит постоянное удорожание самих энергоносителей, рост стоимости их доставки, ухудшение состояния окружающей среды из-за сжигания углеводородного топлива. Наиболее остро эта проблема стоит для территорий Крайнего Севера и Арктики.

© Белиловец В. И., 2024

Необходимы инновационные пути решения проблемы энергетического обеспечения различных территорий и находящейся там инженерной инфраструктуры. При этом генерация энергии не должна приносить вред окружающей среде. Предлагаемый автором данной работы вклад в решение поставленного вопроса заключается в использовании воздушно-алюминиевых генераторов тока для функционирования систем ОДК трубопроводов тепловых сетей. Алюминий является самым распространенным металлом в мире, его содержание в земной коре составляет около 8,8 %. По распространенности среди химических элементов алюминий занимает третье место, уступая кислороду и кремнию. Путем химических реакций из алюминия можно получить электрическую и тепловую энергию. Тепловую энергию можно получить при последующем сжигании водорода. Например, в работах [1, 2] рассматриваются вопросы получения водородного топлива путем окисления алюминия. Воздушно-алюминиевый генератор представляет собой устройство, в котором осуществляется процесс прямого электроокисления алюминиевого анода в специальном щелочном электролите. Диапазон мощностей генераторов, основанных на таком принципе работы, может составить от 1 Вт до 50 кВт. Конструктивно генератор представляет собой непосредственно саму батарею, собранную из топливных ячеек, резервуар с электролитом и системой его подачи (циркуляции), преобразователь напряжения, источник мощности в виде свинцово-кислотных или литийионных аккумуляторов. Помимо этого, в состав генератора могут входить специальные контроллеры управления, а также другое вспомогательное оборудование.

Топливная ячейка представляет собой анод, изготовленный из алюминиевой пластины, подключенной к медному контакту, а также угольного катода. Между анодом и катодом должен быть предусмотрен минимальный зазор, предназначенный для специальной мембраны, смоченной щелочным электролитом. В более мощных генераторах должен быть предусмотрен процесс циркуляции электролита через зазор между анодом и катодом. Анод и катод необязательно должны иметь прямоугольную форму. Например, в работе [3] представлены исследования цилиндрической конструкции топливного элемента воздушно-алюминиевого генератора. Топливом для генератора служит алюминиевый анод. В обычных условиях алюминий покрывается оксидной пленкой, толщиной около 10 нм. Однако при взаимодействии со щелочным электролитом эта пленка разрушается, и алюминиевая пластина начинает растворяться под действием анодной поляризации. Химическая реакция в топливной ячейке генератора описывается следующим уравнением:

$$4\mathrm{Al} + 3\mathrm{O_2} + 6\mathrm{H_2O} + 12\mathrm{NaOH} = 4\mathrm{Na_3Al(OH)_6}\,. \qquad (1)$$

В процессе работы генератора и растворения алюминиевого анода образуется алюминатный раствор, который является сырьем для получения глинозема и его дальнейшей регенерации в алюминий на специальном заводе. После выработки своего ресурса аноды подлежат замене. Следует отметить, что в сухом состоянии (без попадания электролита на материал анода и катода) топливная ячейка генератора может пролежать более 20 лет.

Автором настоящей статьи была разработана и собрана экспериментальная топливная ячейка для воздушно-алюминиевого генератора тока, представленная на рис. 1.

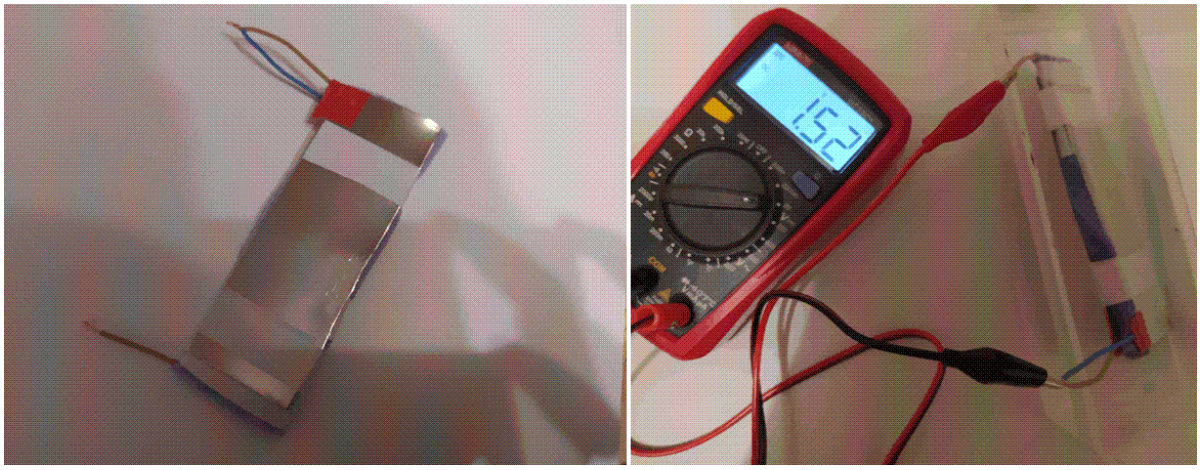


Рис. 1. Сухая топливная ячейка с алюминиевым анодом (слева); эта же ячейка в растворе гидроксида натрия и с подключенным к ней мультиметром

Ячейка, представленная на рис. 1 состоит из двух алюминиевых пластин-анодов, размером 120 × 40 мм, толщина пластины 1 мм. Катод представляет собой сетку из нержавеющей стали с толщиной проволоки 0,25 мм и размером ячейки 0,6 мм. На стальную сетку нанесен слой активированного угля. Материал анода и катода разделяет мембрана, изготовленная из вискозной ткани. Как видно на рис. 1, после смачивания ячейки электролитом, ее напряжение составило 1,52 В. Практика применения подобных топливных ячеек показывает, что напряжение не зависит от площади анода, и всегда будет составлять значение порядка 1,5 В в начале реакции. При увеличении площади анода и катода будет возрастать сила получаемого тока. После смачивания в растворе электролита ячейка должна находиться в воздушной среде. Интенсивность реакции будет падать по мере высыхания тканевой мембраны от электролита и уменьшения количества кислорода, необходимого для протекания реакции. После повторного смачивания ячейки в растворе электролита реакция возобновляется.

Таким образом, блок из нескольких ячеек может служить основой для воздушно-алюминиевого генератора тока. Подобный генератор может быть применен в обеспечении работы систем ОДК трубопроводов тепло-

вых сетей. Следует отметить, что тема применения химических источников тока на основе металлов требует дальнейшего изучения и создания новых экспериментальных прототипов генераторов.

Список источников

1. Водородные и алюмоводородные накопители в электроэнергетике / А. Жук, Н. Новиков, А. Новиков, В. Фролов // Энергетическая политика. 2021. № 5 (159). С. 64–79.

2. Оценка конкурентоспособности технологий получения «зеленого» водорода: безуглеродный алюминий и электролиз воды / А. З. Жук, В. И. Борзенко, Е. А. Бузоверов, П. П. Иванов // Вестник Объединенного института высоких температур. 2021. Т. 6, № 1. С. 21–26.

3. Разработка и исследование газодиффузионных катодов в составе цилиндрических элементов воздушно-алюминиевого электрохимического генератора / Е. А. Киселева, А. З. Жук, Б. В. Клейменов, В. Г. Удальцов // Журнал прикладной химии. 2018. Т. 91, № 1. С. 65–69.

УДК 004.41, 620.4, 620.9

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Е. А. Бойко[1], К. В. Лебедев[2]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[2]konstantin.lebedev.2000@gmail.com

Расчет котельной установки – это сложный и комплексный процесс, который требует большого количества времени и специальных знаний. Он включает в себя множество факторов, таких как тип котла, вид и характеристики сжигаемого топлива, конструктивные и режимные параметры поверхностей нагрева и целый ряд других данных, которые необходимо учитывать при выполнении поверочных и конструкторских расчетов энергетических паровых котлов [1]. Ручной расчет котельной установки может занимать значительное временя, особенно при выполнении сложных расчетов с большим числом деталей и ограничений. Решением данной проблемы является использование специализированного программного обеспечения, позволяющего автоматизировать процесс ввода исходных данных и сам расчет, что приведет к повышению объема, скорости и точности вычислений.

В настоящей работе представлен новый подход к разработке специализированного программного обеспечения для автоматизированного комплексного расчета паровых энергетических котлов, включая конструкторские и поверочные тепловые расчеты, расчет системы пылеприготовления, гидравлический расчет контуров циркуляции, аэродинамический расчет газовоздушного тракта с оценкой выбросов вредных веществ и показатели надежности работы.

Анализ существующего программного обеспечения для решения аналогичных задач позволил сформулировать основные отличительные признаки разрабатываемого программного продукта и требования к его реализации: иерархическая структура программных модулей; универсальность подхода; масштабируемость; комплексность; гибкость; простота и интуитивность; использование развитых баз данных.

Вместе с тем на российском рынке также отсутствуют предложенияпо расчету паровых котлов с использованием веб-приложений, приме-

© Бойко Е. А., Лебедев К. В., 2024

нение которых позволяет обеспечить потенциальному пользователю целый ряд преимуществ: кросс-платформенность, доступность, функциональность и быстродействие. На основе веб-приложения можно упростить задачу проектирования и разработки архитектуры проекта. Использование баз данных и интеграция их со статистическими источниками данных энергетических предприятий позволит применять для расчета также методы эффективного машинного обучения. Организация приложенияв клиент-серверной архитектуре обеспечит выполнение сложныхрасчетов на сервере, освобождая клиентские устройства от большой вычислительной нагрузки.

Расчет технологической схемы котельного агрегата представляет собой формирование функциональных связей между элементами различных трактов с последующей вычислительной интерпретацией математической модели в виде системы нелинейных балансовых уравнений. обращение к каждому элементу составленных трактов и обращение к его функции расчета. В этом случае объект (элемент схемы) использует статический класс с реализацией модифицированного метода Ньютона. Для решения уравнений составляется:

– вектор для неизвестных $X = \begin{pmatrix} x_1 \\ ... \\ x_n \end{pmatrix}$;

– матрица Якоби (матрица частных производных)

$$W(X_i) = \begin{pmatrix} \frac{df_1}{dx_1} & ... & \frac{df_1}{dx_n} \\ ... & ... & ... \\ \frac{df_n}{dx_1} & ... & \frac{df_n}{dx_n} \end{pmatrix};$$

– вектор для уравнений системы $F(X) = \begin{pmatrix} f_1(X) \\ ... \\ f_n(X) \end{pmatrix} = 0$.

Итерационная процедура вычисления выглядит следующим образом:

$$X_{i+1} = X_i - W^{-1}(X_i) \cdot F(X_i) \qquad (1)$$

и продолжается, пока не выполнено условие $|X_{i+1} - X_i| < \varepsilon$, где ε – указанная пользователем допустимая погрешность.

Реализация разработанного подхода при оценке произвольного элемента тепловой схемы котлоагрегата представлена на примере конвективного пароперегревателя (см. рис. 1). Балансовые уравнения для расчета пароперегревателя выглядят следующим образом [2]:

$$\begin{cases} \varphi(H'_{\text{г}} - H''_{\text{г}} + \Delta\alpha_{\text{пп}} \cdot H^{0}_{\text{хв}}) = \dfrac{kF_{\text{кпп}}\Delta t}{B_p \cdot 10^3} \\ \dfrac{D_{\text{кпп}}}{B_{\text{р}}}(h'' - h') - Q^{\text{л}}_{\text{к}} = \dfrac{kF_{\text{кпп}}\Delta t}{B_p \cdot 10^3} \end{cases}. \quad (2)$$

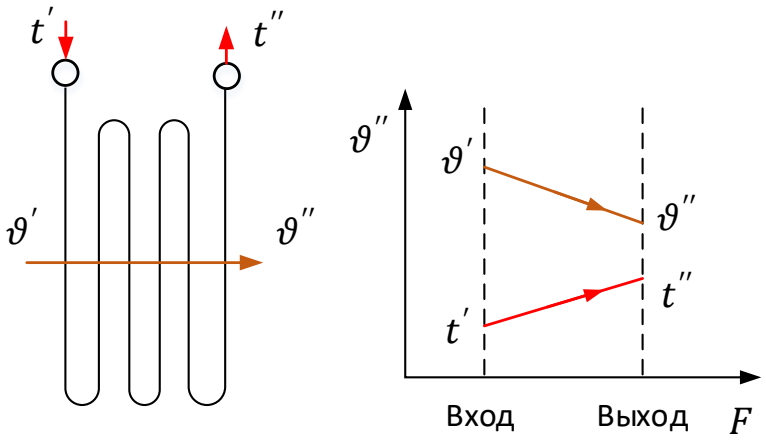


Рис. 1. Расчетная схема конвективного пароперегревателя

Выразим из уравнений (2) энтальпии сред на выходе из поверхности нагрева H'' и h'':

$$\begin{cases} H''_{\text{г}} = H'_{\text{г}} + \Delta\alpha_{\text{пп}} \cdot H^{0}_{\text{хв}} - \dfrac{kF_{\text{кпп}}\Delta t}{B_p \cdot 10^3 \cdot \varphi} \\ h'' = \left(\dfrac{kF_{\text{кпп}}\Delta t}{B_p \cdot 10^3} + Q^{\text{л}}_{\text{к}} \right) \cdot \dfrac{B_{\text{р}}}{D_{\text{кпп}}} + h' \end{cases}. \quad (3)$$

Тогда зная, что энтальпия газа находится как функция при температуре газа и избытке воздуха, а энтальпия пара как функция при известном давлении и температуре, соответственно получим $H''_{\text{г пров}} = H(v'', \alpha'')$, $h''_{\text{пров}} = h(p'', t'')$.

Принимая, что вектор для уравнений системы $F(X) = 0$, приведем уравнения (3) к следующему виду:

$$\begin{cases} f_1(X) = H''_{\text{г}} - H''_{\text{г пров}} \\ f_2(X) = h'' - h''_{\text{пров}} \end{cases}. \quad (4)$$

В такой постановке, задавшись неизвестными, можно решить эту систему нелинейных балансовых уравнений модифицированным методом Ньютона [3].

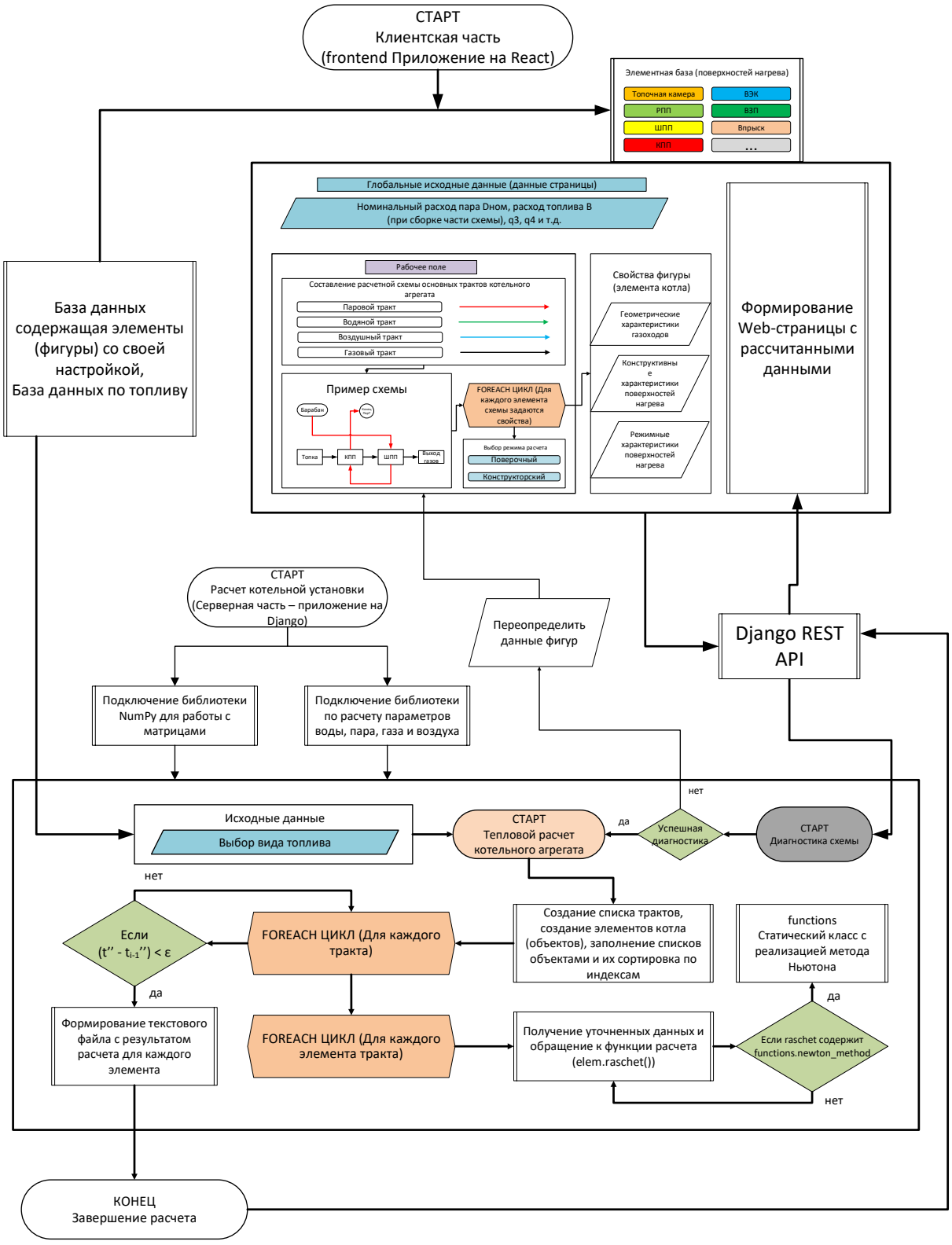


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчета

Представленный методический, алгоритмический и математический подход обеспечивает универсальный поиск любой совокупности неизвестных величин, что в свою очередь позволяет выполнить произвольный целевой расчет (поверочный, конструкторский, гибридный, целевой) как от-

дельного элемента котлоагрегата, так и группы элементов или тепловой схемы в целом.

На рис. 2 в виде блок-схемы представлен обобщенный алгоритм работы представленного программного обеспечения.

Программное обеспечение представляет собой клиент-серверное приложение, в котором расчетный модуль (backend) написан с использованием фреймворка Djangoи языка Python, а веб-интерфейс (frontend) с использованием библиотеки React и языка JavaScript.

В качестве примера на рис. 3 представлена расчетная схема пылеугольного котельного агрегата ТПЕ-216 Красноярской ТЭЦ-3. Расчетная схема включает в себя 47 уникальных элементов пароводяного и газовоздушного трактов котла.

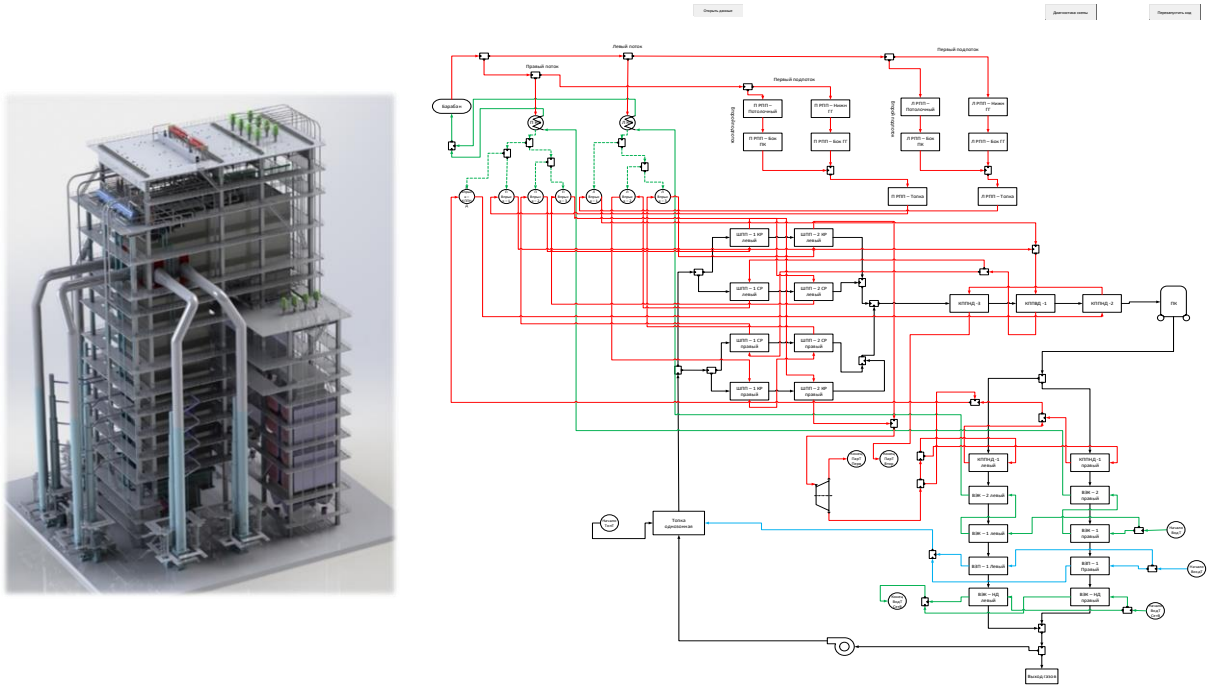


Рис. 3. Расчетная схема котельного агрегата ТПЕ-216 Красноярской ТЭЦ-3

Особенностью представленного расчетного подхода является его применимость и универсальность для создания в будущем цифровых двойников и прототипов не только котельных агрегатов, но и любого основного и вспомогательного оборудования тепловых электростанций под задачи эксплуатационного, проектного и ремонтно-наладочного персонала [4].

Список источников

1. Тюрина Э. А., Медников А. С. Цифровая модель износа конвективных поверхностей теплообмена пылеугольного котла // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 4. С. 141–150.

2. Бойко Е. А., Сидельников Н. В., Минаков А. В. Разработка теоретических и прикладных основ перевода котельных агрегатов с жидкого шлакоудаления на твердое при сжигании канско-ачинских углей // Энергоресурсоэффективность в интересах устойчивого развития. Сборник научных трудов международной научной конференции. Томск : ТПУ, 2018. С. 85–86.

3. Calculation of boiler-utilizer based on boiler designer software / Г. И. Домерман, Б. Л. Шелыгин, А. В. Мошкарин, Ю. В. Мельников // Вестник ИГЭУ. 2008. Вып. 2. С. 7–12.

4. Бойко Е. А., Деринг И. С., Охорзина Т. И. Котельные установки и парогенераторы: тепловой расчет парового котла. Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2005. 96 с.

5. Бойко Е. А., Бобров А. В., Шишмарев П. В. и др. Риск-ориентированное управление техническим состоянием технологического оборудования тепловых электростанций. Красноярск : ИПЦ СФУ, 2021. 352 с.

УДК 536.24

СОЗДАНИЕ МАТЕРИАЛОВ С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ НУЖД ЭНЕРГЕТИКИ

А. В. Дорожкин[1], Е. Г. Орлова[2], Д. В. Феоктистов[3]

[1, 2, 3]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
[1]avd46@tpu.ru

В настоящее время развитие страны в большей степени обусловлено имеющимися энергетическими ресурсами. Большое число тепловых, электрических и атомных станций в России производят огромный объём тепла и электричества, необходимого для создания как простых бытовых приборов, так и сложной авиационной и ракетной техники. При эксплуатации теплоэнергетического оборудования поверхности могут перегреваться, подвергаться коррозии при контакте с агрессивными средами и др. Для защиты основных поверхностей, которые длительное время находятся под действием таких разрушающих условий, необходимо предпринять ряд усовершенствований теплоэнергетического оборудования. Известно [1], что качественная гидрофобизация способствует снижению влияния активных процессов на поверхности. Целью настоящей работы является разработка способа гидрофобизации поверхностей алюминиевого сплава.

Исследования проводились на образцах в форме пластин из алюминиево-магниевого сплава АМГ-2М (Al – 95,7–98,2 %, Mg – 1,7–2,4 %, Fe – < 0,5 %, Mn – 0,1–0,5 %, Si – < 0,4 %, Cu – < 0,15 %, Ti – < 0,15 %) размерами 15,0 × 15,0 × 1,2 мм. Текстура на предварительно полированных образцах формировалась с использованием лазерной системы на базе иттербиевого импульсного волоконного лазера IPGPhotonics (длина волны 1064 нм). После создания текстуры образцы очищались в ультразвуковой ванне для подготовки к процессу гидрофобизации. Сам процесс представляет собой нагрев в муфельной печи образца в течение определенного времени, а затем распыление на него углеводородсодержащей жидкости (трансформаторное масло).

Свойства смачивания исследовались на установке, в которой реализована теневая оптическая методика [2]. Свойства смачивания определя-

© Дорожкин А. В., Орлова Е. Г., Феоктистов Д. В., 2024

лись по величине статического контактного угла по теневым изображениям капли воды объемом 5 мкл.

Измеренные статические контактные углы на полированных образцах АМГ-2М составили 86,3° (рис. 1). Непосредственно после гидрофобизации поверхности демонстрировали супергидрофобные свойства, угол составлял больше 165° (рис. 1).



а *б*

Рис. 1. Типичное теневое изображение капли воды для измерения статического контактного угла: *а* – на полированной поверхности; *б* – на супергидрофобной поверхности

Гидрофобизация образцов выполнялась в следующей последовательности. Предварительно текстурированный и очищенный образец помещался на держатель и вводился в трубчатую печь LF-50/500-1200 (LOIP, Россия), нагретую до 920 °С.

На закрепленную каретку помещался образец с термопарой типа К (хромель-алюмель) и с помощью модуля линейного перемещения СТМЛ-1 (Сервотехника, Россия) образец перемещался в печь. После нагрева образец вынимался из печи и на его поверхность распылялось масло. Длительность и объем распыляемого масла контролировались электромагнитным клапаном (SAILFLO, Китай) в паре с модулем реле времени (XY-j02, Россия). Время нахождения образца в печи и температура внутри печи оставались постоянными, варьировалось время распыления масла на поверхность образца.

Установлено, что увеличение времени распыления масла с 1,5 до 2,5 с увеличивает контактный угол, т. е. смачивание ухудшается. Статический контактный угол изменяется от 135° до 172°. При увеличении длительности распыления (больше 2,5 с) процедура гидрофобизации проходила нестабильно из-за переизбытка масла, которое может впитаться в поверхность образца. Недостаток масла наблюдался при длительности распыления меньше 1,5 с, поэтому поверхность обладала гидрофильными или супергидрофильными свойствами.

Таким образом, по результатам проведенных исследований установлены параметры гидрофобизации (время распыления, температура нагрева образцов, длительность нагрева), позволяющие получить поверхности

алюминиево-магниевого сплава с супергидрофобными свойствами. Полученные материалы с уникальными функциональными свойствами в дальнейшем будут исследованы на долговечность покрытия, коррозионную стойкость, стойкость к кавитационным и абразивным износам для установления возможности их дальнейшего применения при конструировании теплообменных аппаратов и систем капельного охлаждения.

Исследование выполнено при поддержке программы развития ТПУ «Приоритет 2030» № 075-15-2023-375 (Приоритет-2030-НИП/ЭБ-114-375-2023).

Список источников

1. Кузина Е. А., Омран Ф. Ш., Емельяненко А. М., Бойнович Л. Б. О важности подбора режимагидрофобизации для получения стойких супергидрофобных покрытий // Коллоидный журнал. 2023. Т. 85. № 1. С. 63–70.

2. Kuznetsov G. V., Orlova E. G., Feoktistov D. V., Islamova A. G., Zhuikov A. V. Droplet Spreading and Wettability of Abrasive Processed Aluminum Alloy Surfaces // Met. Mater. Int. 2020. V. 26. P. 46–55.

УДК 614.84

СПОСОБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХЛАДОНОВ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧС

Т. А. Енютина, М. М. Гафуров, А. О. Воронович, Е. А. Федотов, Д. Д. Глотов[1], З. С. Ефремова, А. В. Кыргыз, А. Р. Гадалкин

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]goltol8@gmail.com

Пожары нефтяных и газовых фонтанов, периодически возникающих при бурении и эксплуатации скважин, являются наиболее тяжелыми авариями, осложняющими деятельность буровых и нефтегазодобывающих предприятий. Разработка новых способов тушения пожаров на этих объектах является актуальной задачей.

Известны ряд способов тушения скважинных возгораний в зависимости от вида фонтанов, их мощности и конкретных условий с помощью, например, водяных струй из ручных и лафетных стволов, с использованием взрыва специального заряда, газоводяными струями, порошковыми огнетушащими веществами и так далее [1].

Одними из лучших тушащих веществ являются хладоны, обладающие рядом преимуществ: являются диэлектриками, не вызывают коррозию конструкционных материалов, не воспламеняются и нетоксичны, имеют постоянные эксплуатационные характеристики, не разрушают озоновый слой, имеют хорошие термодинамические данные и так далее. Но их применение ограничено замкнутыми объёмами.

В нашей работе мы поставили задачи: 1) рассмотреть возможность использования хладонов в условиях открытого пространства, а именно при тушении пожаров на нефтескважинах; 2) модули (баллоны) с жидким хладоном должны объединяться в батареи с возможностью транспортировки к месту установки скважин, например, автомобильным транспортом или вертолётами; 3) обеспечить распыление паров хладона на очаг пожара.

В качестве тушащего вещества нами выбран фреон R134a (тетрафторэтан) – представитель современных хладонов. Фреон R134a помещается в модули (баллоны),

Для подтверждения эффективности тушения пожаров на открытом воздухе с помощью газовых огнетушащих веществ был разработан и осуществлён опыт с использованием R134a. Работа была проведена в пожар-

© Енютина Т. А., Гафуров М. М., Воронович А. О., Федотов Е. А., Глотов Д. Д., Ефремова З. С., Кыргыз А. В., Гадалкин А. Р., 2024

ной части № 19 ФГКУ «30 отряд федеральной противопожарной службы по Красноярскому краю». Результаты подтвердили возможность использования ГОТВ для тушения возгорания на открытом воздухе.

Схема предложенного устройства для устранения ЧС на скважинах приведена на рис. 1 [2].

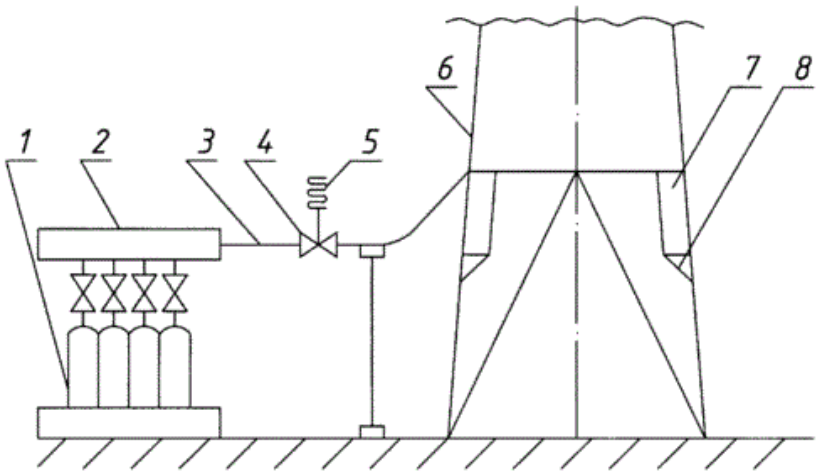


Рис. 1. Схема устройства для тушения пожаров: *1* – батарея модулей с запорно-пусковыми устройствами электрического действия; *2* – коллектор, объединяющий модули; *3* – подающий трубопровод; *4* – задвижка, снабженная пусковым элементом автоматического срабатывания устройства при возгорании; *5* – пружина из материала с памятью формы; *6* – вышка над нефтяной скважиной; *7* – ответвления подающего трубопровода *3*; *8* – сопла Лаваля с косым срезом

Работа устройства происходит следующим образом. При возникновении возгорания пружина *5* из материала с памятью формы, использующаяся в качестве приводного элемента в задвижке *4*, расширяется при повышении температуры вследствие возгорания и воздействует на клиновой затвор задвижки *4*, обеспечивая ее автоматическое открывание [3].

Одновременно пружина *5* замыкает электрическую цепь, в результате чего подается электрический импульс на запорно-пусковые устройства модулей (условно не показано). При этом пары хладона из батареи модулей *1* поступает в коллектор *2*, затем в трубопровод *3*, далее в ответвления *7*, на выходе из которых поток расширяется в соплах Лаваля с косым срезом *8*, приобретая достаточно высокую скорость, и поступают к очагу пожара. Сопла Лаваля с косым срезом установлены таким образом, чтобы обеспечить направление потока к устью скважины в очаг пожара.

При открытии задвижки давление в модулях снижается практически до атмосферного за счёт дросселирования в выпускном элементе модуля, в результате чего жидкость переходит в состояние пара. При этом температура потока уменьшается, как и далее в соплах Лаваля, что является положительным фактором при тушении.

Технический результат заключается в реализации тушения скважинных возгораний газовым огнетушащим веществом с автоматическим срабатыванием запорно-пусковых устройств для подачи газовых огнетушащих веществ в очаг пожара с помощью сопловых распылителей по периметру очага, и в расширении арсенала технических средств для тушения пожара на нефтяных скважинах, расположенных в отдаленных труднодоступных местах, где отсутствуют источники водоснабжения, в условиях любого времени года.

Также следует обратить внимание на особенность истечения из баллона – масса хладона в баллоне уменьшается по мере выпуска вещества [4]. В начале поток, поступающий в сужающуюся часть сопла, приобретает скорость, равную скорости звука. При этом массовый расход пара имеет максимальное значение. Эта часть процесса называется надкритической областью. Затем течение входит в подкритическую область, расход уменьшается до полного выпуска из баллона (рис. 2).

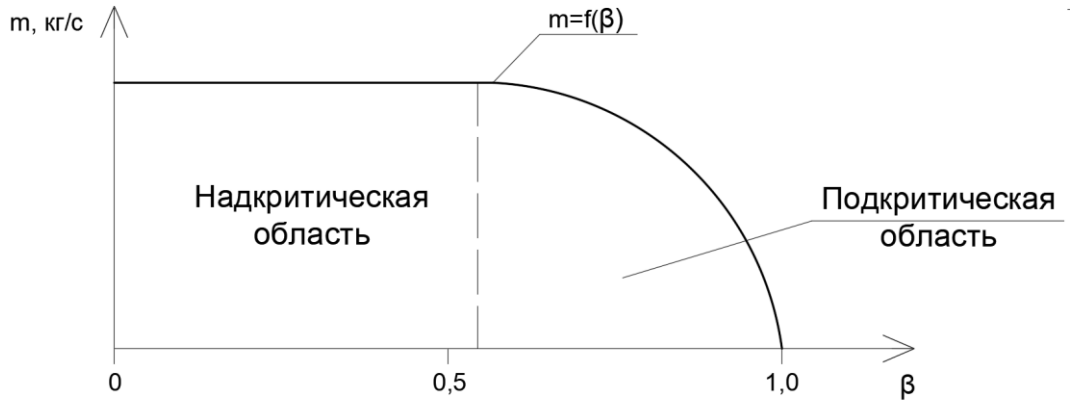


Рис. 2. Расход потока m, кг/с, в зависимости от отношения давлений β

Для надкритической части выполнен расчёт времени истечения из сопла по формуле

$$t_{\text{кр}} = \frac{2}{n-1} \times \frac{V_0}{\psi_{max}} \times \frac{\sqrt{\rho_0}}{f \times \sqrt{P_0}} \times \left[\left(\frac{P_0}{P_2} \right)^{\frac{n-1}{2n}} \times \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1} \times \frac{n-1}{2n}} - 1 \right].$$

$$t_{\text{кр}} = \left(\frac{6{,}4 \times 10^6}{1 \times 10^5} \right)^{\frac{1{,}2-1}{1{,}2}} \times \frac{0{,}1}{0{,}47} \times \frac{\sqrt{4{,}926}}{0{,}00002792} \times \frac{1}{\sqrt{6{,}4 \times 10^6}} \times$$

$$\times \left[\left(\frac{6{,}4 \times 10^6}{0{,}1 \times 10^5} \right)^{\frac{1{,}2-1}{1{,}2}} \times \left(\frac{2}{1{,}29+1} \right)^{\frac{1{,}29}{1{,}29-1} \times \frac{1{,}2-1}{2 \times 1{,}2}} - 1 \right] = 127{,}346 \text{ с.} \approx 127 \text{ с.}$$

Возможно, для распыления тушащего вещества достаточно только суживающего сопла. Работа в этом направлении продолжается.

Список источников

1. Иванников В. П., Клюс П. П. Справочник руководителя тушения пожаров. М., 1987. 288 с.

2. Патент № 2770220 Российская Федерация, МПК E21B 35/00 (2006.01), СПК E21B 35/00(2022.02). Способ тушения скважинных возгораний и устройство для его осуществления: № 2021124222 : заявл. 12.08.2021 : опубл. 14.04.2022 / Енютина Т. А., Калинич И. В., Марченкова С. Г., Кулагина Л. В., Патрушева Т. Н., Федорченко И. И.

3. Патент № 194816 Российская Федерация МПК E21B 34/16 (2006.01), F16K 31/64 (2006.01), СПК E21B 34/16 (2019.08), F16K 31/002(2019.08). Задвижка для ава-рийного отключения топливных трубопрово-дов : № 2019126947 : заявл. 29.03.2019 : опубл. 24.12.2019 / Кулагина, Т. А., Енютина Т. А., Забиров А. В., Калинич И. В., Марченкова С. Г.

4. Нижегородский Государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева. Течение газа // Файловый архив студентов – 2019. URL: https://studfile.net/preview/9542378/page:3 (дата обращения: 15.08.2023).

УДК 662.739

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОГО ГОРЕНИЯ БУРОГО УГЛЯ И ОПИЛОК ОСИНЫ

А. В. Жуйков[1], А. И. Матюшенко[2], С. Г. Степанов[3], Н. А. Землянский[4]

[1, 2, 4] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1] Институт химии и химической технологии СО РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Красноярский научный центр СО РАН», Красноярск, Россия
[3] АО «СУЭК-Красноярск», Красноярск, Россия
[1] azhuikov@sfu-kras.ru

Введение

Внедрение ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий в теплоэнергетику осложнено необходимостью разработки и постройки новых энергетических установок либо реконструкции действующих, что требует больших капиталовложений. Отработанная технология сжигания твердого ископаемого топлива в энергетических установках остается востребованной не только в России, но и за рубежом [1], а уголь является наиболее перспективным твердым топливом. Альтернативой для замены угля – лесная биомасса в виде древесных отходов лесопереработки, стоимость которых зависит только от ее доставки до объектов теплоэнергетики. Переход на совместное сжигание угля и лесной биомассы могло бы сократить потребление твердого ископаемого топлива и привести к снижению выбросов мелкодисперсных твердых и вредных газообразных продуктов сгорания, так как зольность лесной биомассы и содержание в ней серы в разы меньше, чем у угля [1, 2].

Для изучения горения твердого топлива наряду с другими методами широко используется метод термического анализа, с помощью которого можно установить ряд основных характеристик процесса горения, таких как температура воспламенения летучих веществ и коксового остатка, температура, при которой завершается процесс горения, максимальная скорость убыли массы (максимальная скорость горения) и др. [3, 4]. Данные характеристики важны для расширения знаний о процессе горения твердых топлив и могут быть использованы в дальнейшем для CFD-моделирования топочных устройств.

© Жуйков А. В., Матюшенко А. И., Степанов С. Г., Землянский Н. А., 2024

Материалы и методы

В работе исследовались следующие твердые топлива:

1) большесырский бурый уголь марки 3Б (далее уголь), Канско-Ачинский угольный бассейн, Красноярский край;

2) опилки из осины (далее опилки), отходы от деревообрабатывающего предприятия, г. Красноярск.

Данный уголь применяется как энергетическое топливо на территории Красноярского края, а опилки осины являются распространённым отходом деревообрабатывающей промышленности. Топлива изучены после достижения ими состояния аналитической пробы, влажность которой доведена до состояния равновесия с влажностью воздуха в лабораторном помещении. Уголь и опилки с начальным размером менее 20 мм по отдельности измельчали в дисковой мельнице Retsch DM 200 (RetschGmbH, Germany). Для получения необходимого размера топлив (100–200 мкм) применялась просеивающая машина Retsch AS 200 BASIC (RetschGmbH, Germany). Калорийность топливных образцов определяли в калориметре IKA C6000. Влажность определялась по ГОСТ 8.649–2015, зольность – по ГОСТ 55661–2013, выход летучих веществ – по ГОСТ Р 55660–2013, содержание серы – по ГОСТ 8606–2015, высшая теплота сгорания – по ГОСТ 147–2013, содержание углерода, водорода, азота – по ГОСТ 32979–2014, содержание кислорода – методом вычитания по ГОСТ 27313–2015. Результаты технического и элементного анализа топлив приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технический и элементный состав топлив

Топливо	W^a	A^d	V^{daf}	C^{daf}	H^{daf}	N^{daf}	S^{daf}	O^{daf}	Q_s^{daf}, МДж/кг
	%								
Уголь	3,5	6,2	44,6	74,1	5,0	0,9	0,3	19,7	33,22
Опилки	2,8	0,2	83,0	50,0	5,8	0,4	–	43,8	19,14

Примечание: W^a – влажность в аналитическом состоянии, A^d – зольность в сухом состоянии, V^{daf} – содержание летучих веществ в сухом беззольном состоянии, *C, H, N, S, O* – содержание углерода, водорода, азота, серы и кислорода в сухом беззольном состоянии; Q_s^{daf} – высшая теплота сгорания в сухом беззольном состоянии.

Синхронный термический анализ проводился с применением термоанализатора SDT Q600 (TA Instruments-Waters LLC, NewCastle, DE, USA). Навеска топлива составляла около 6,0 мг. Нагрев производился в потоке воздуха с расходом 50 мл/мин при скорости 20 °C/мин. Основные характеристики горения определяли путем анализа профилей кривых TG, DTG и DSC, полученных с помощью ПО Universal Analysis 2000 (TA Instruments-Waters LLC, New Castle, DE, USA).

По результатам синхронного термического анализа определялись следующие характеристики [4]:

– по методу пересечения кривых определялась температура, при которой происходит воспламенение коксового остатка (T_i);

– максимальное значение скорости убыли массы ($ДТГ_{max}$), которая прямо пропорциональна реакционной способности топлива, и температура ($T_{ДТГ}$), соответствующая$ДТГ_{max}$;

– максимальное значение интенсивности теплового потока ($ДСК_{max}$) и температура ($T_{ДСК}$), соответствующая $ДСК_{max}$, а также основные эндотермические и экзотермические эффекты;

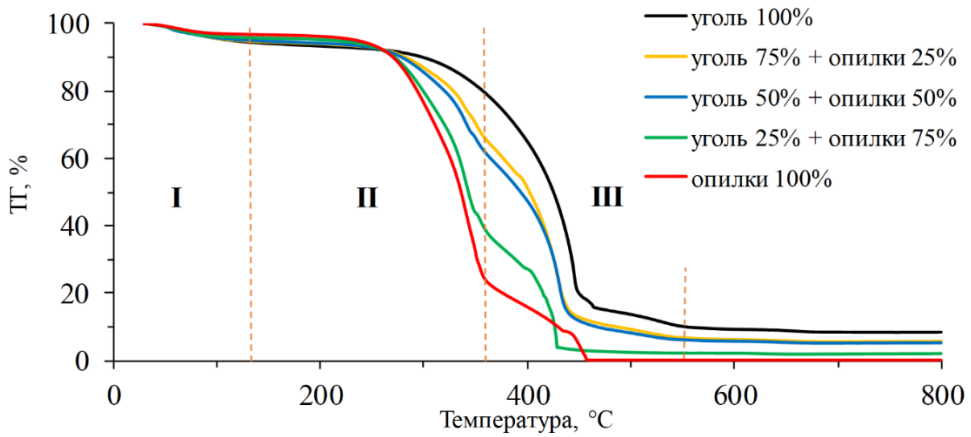
– температура, при которой происходит завершение процесса горения (T_b), определялась по скорости убыли массы равной 1 %/мин после последнего экстремума *ДТГ*.

Результаты и обсуждения

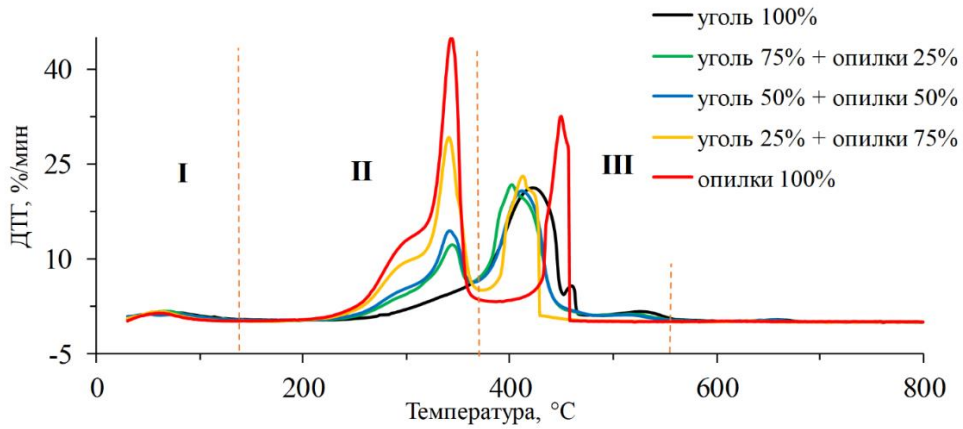
Процесс нагрева угля, опилок и их смесей, представленный на рис. 1, условно разделен на три стадии, обозначенные римскими цифрами. Стадии I соответствует процесс удаления влаги в диапазоне температур 25–130 °С, сопровождающийся небольшим эндотермическим эффектом (рис. 1, *в*). Для стадии II характерно начало термического разложения топлива, перерастающее в воспламенение и горение летучих веществ, сопровождающееся экзотермическим эффектом (рис. 1, *в*). На стадии III для угля происходит воспламенение коксового остатка и продолжается до температуры, соответствующей завершению процесса горения, и сопровождающееся экзотермическим эффектом (рис. 1, *в*).

Для опилок стадия III начинается в начале второго экстремума ДТГ, хотя температура, при которой происходит воспламенение коксового остатка, находится в температурной области стадии II. Данное различие происходит вследствие того, что у угля стадии II и III, протекающие в диапазоне температур 230–547 °С, выражены одним экстремумом ДТГ (рис. 1, *б*). Процесс горения опилок, в отличие от угля, выражен двумя экстремумами ДТГ с разными температурными диапазонами (рис. 1, *б*). Первый экстремум ДТГ, находящийся в диапазоне температур 200–370 °С (рис. 1, б) характерен для горения летучих веществ и части коксового остатка, а второй экстремум ДТГ, протекающий в диапазоне температур 370–450 °С (рис. 1, *б*), характерен для горения коксового остатка. В табл. 2 представлены результаты термического анализа.

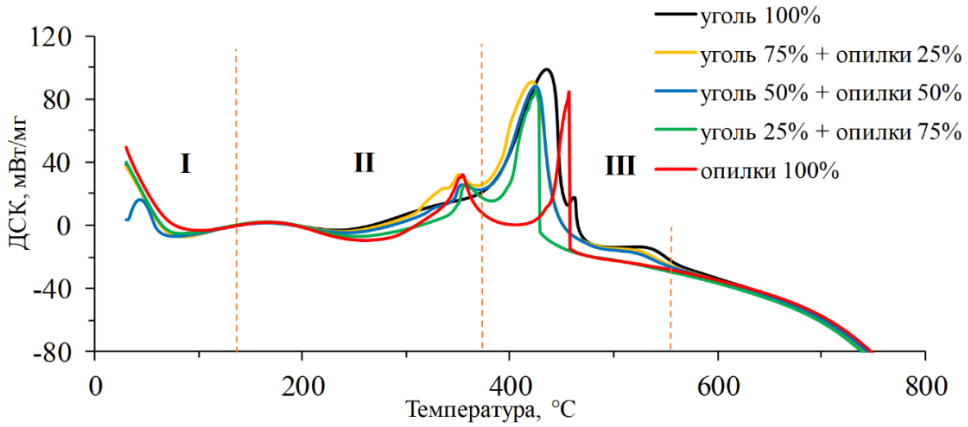
Добавление 25 % опилок к углю снижает температуру воспламенения коксового остатка на 18 % по сравнению с углем (табл. 2), также происходит увеличение значения $ДТГ_{max}$ на 3 %, что говорит об увеличении реакционной способности смеси. Температура, при которой завершается процесс горения, снизилась на 3 %.



а



б



в

Рис. 1. Профили кривых нагрева угля, опилок и их смесей:
а – ТГ; *б* – ДТГ; *в* – ДСК

Таблица 2

Характеристики горения топливных образцов [4]

Топливо	T_i, °С	$ДТГ_{max}$, %/мин	$T_{ДТГ}$, °С	$ДСК_{max}$, мВт/мг	$T_{ДСК}$, °С	T_b, °С
Уголь 100 %	360	21,2	422	98,3	436	547
Уголь 75 % + опилки 25 %	306	21,7	411	90,9	421	532
Уголь 50 % + опилки 50 %	304	20,7	402	88,4	424	522
Уголь 25 % + опилки 75 %	303	29,3	355	83,5	426	463
Опилки 100 %	301	44,9	344	86,6	458	450

Добавление 50 % опилок к углю снижает температуру воспламенения коксового остатка на 19 %. Так же снижается температура, соответствующая максимальной скорости, убыли массы на 5 %, а температура, при которой завершается процесс горения, снижается на 5 % по сравнению с углем.

При добавлении 75 % опилок к углю температура воспламенения коксового остатка снизилась незначительно, температура при которой завершается процесс горения снизилась на 21 %. Максимальная интенсивность теплового потока увеличилась на 38 %.

Увеличение доли опилок в смеси снижает значение максимальной интенсивности теплового потока (табл. 2) из-за низкой теплоты сгорания опилок по сравнению с углем (табл. 1) [4].

Выводы

Проведенный синхронный термический анализ нагрева угля, опилок и их смесей показал следующее.

1. Увеличение доли опилок в смеси выше 25 % приводит к резкому снижению тепловыделения смеси и максимальной интенсивности теплового потока, поэтому нецелесообразно увеличивать долю опилок в смеси выше 25 %.

2. Добавление 25 % опилок к углю снижает температуру воспламенения коксового остатка на 18 %, последующее увеличение доли опилок в смеси незначительно влияет на эту характеристику.

3. Снижение температуры, при которой завершается процесс горения при данной доле опилок, в смеси составило 3 %.

4. Максимальная скорость убыли массы увеличилась на 2 %, что говорит об увеличении реакционной способности смеси по сравнению с углем. При увеличении доли опилок в смеси до 50 % происходит снижение максимальной скорости убыли массы на 2 %.

5. Максимальная интенсивность теплового потока снижается на 8 %, при дальнейшем увеличении доли опилок в смеси снижение достигает 18 %.

Список источников

1. Рябов Г. А. Развитие технологий совместного сжигания угля и биомассы // Энергетика за рубежом. Приложение к журналу «Энергетик». 2022. № 3. С. 2–40.

2. Дремичева Е. С. Использование твердотопливных композиций при совместном сжигании на объектах малой энергетики // Промышленная энергетика. 2021. № 8. С. 48–56.

3. Жуйков А. В., Матюшенко А. И., Степанов С. Г. Актуальность применения твердотопливной смеси на основе бурого угля Большесырского разреза и отходов лесоперерабатывающей промышленности из березы в энергетических установках // IPOLYTECH JOURNAL. 2023. Т. 27. № 2. С. 310–321.

4. Жуйков А. В. Возможность применения твердотопливных смесей на основе бурого угля марки 3Б и древесных отходов в теплоэнергетике // Промышленная теплоэнергетика. 2023. № 7. С. 37–43.

УДК 621.18-182.2

ОСВОЕНИЕ НИЗКОЭМИССИОННОЙ СИСТЕМЫ СЖИГАНИЯ УГЛЯ

А. В. Копань[1], А. В. Жуйков[2], С. В. Чичерин[3]

[1] ООО «Комплексные энергетические решения», Москва, Россия
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[3] Брюссельский свободный университет (нидерландскоязычный); Брюссельский институт гидротермических систем и чистой энергии Свободного университета Брюсселя (франкоязычный), Брюссель, Бельгия
[1]alexvkopan@gmail.com

Выработка тепловой энергии на угольных котельных и ТЭЦ сопровождается негативным влиянием на окружающую среду и на здоровье человека вредными газообразными продуктами сгорания, поэтому в настоящее время стоит задача по переходу к экологически безопасной энергетике. В работе рассматриваются мероприятия, направленные на снижение экологически вредных выбросов оксидов азота при сжигании кузнецких углей марки Д на энергетических котлах типа Е-240-13,8-560КТ, а также представлены результаты экспериментальных данных, полученных в период режимно-наладочных испытаний в сравнении с расчетными величинами, полученными в процессе проектирования методом трехмерного математического моделирования процессов горения с применением CFD-моделирования. Численные исследования проводились с использованием коммерческого пакета AnsysFluent. Экспериментальные данные получены в процессе режимно-наладочных и балансовых испытаний котла Е-240-13,8-560КТ.

Целью исследования является разработка комплекса технических мероприятий для внедрения на вновь вводимых в работу энергетических котлах по горелочным устройствам, топкам котлов и системам пылеприготовления, способствующих не только низкоэмиссионному сжиганию кузнецких углей марки Д, но и обеспечивающих требуемые технико-экономические показатели [1].

В соответствии с проектом в рамках обеспечения энергетической безопасности Калининградской области осуществлено строительство новой электростанции, основным топливом для которой служит каменный уголь Кузнецкого бассейна.

© Копань А. В., Жуйков А. В., Чичерин С. В., 2024

Схема сжигания пылеугольного топлива должна обеспечивать надежное воспламенение и устойчивое горение в широком диапазоне нагрузок, при минимальной генерации вредных веществ. В связи с этим с помощью CFD-моделирования был разработан новый пылеугольный котел с низкоэмиссионной схемой сжигания топлива. Номинальная паропроизводительность котла составила 240 т/ч с параметрами перегретого пара 560 °С и 13,8 Мпа, проектные значения выбросов оксидов азота NO_x не более 450 мг/нм^3 и потери от механического недожога топлива менее 1,0 %.

Для вновь проектируемого котла была разработана оптимальная топочная камера, квадратного сечения с тангенциальной схемой расположения горелочных устройств.

Схема пылесжигания, предполагающая комплексное воздействие на генерацию оксидов азота, включает в себя компоновку горелочных устройств из трех разнесенных по высоте топки ярусов основных горелок и одного яруса сопел третичного дутья (рис. 1). Предполагалось, что удачная реализация этой схемы позволит достичь снижения концентрации NO_x в дымовых газах на 30–40 % [2]. Такой эффект возможен благодаря тому, что сгорание летучих веществ происходит в обедненной кислородом среде, а азотсодержащие компоненты (цианиды и амины) переходят главным образом не в соединения NO_x, а в безвредный инертный молекулярный азот N_2 [3]0.

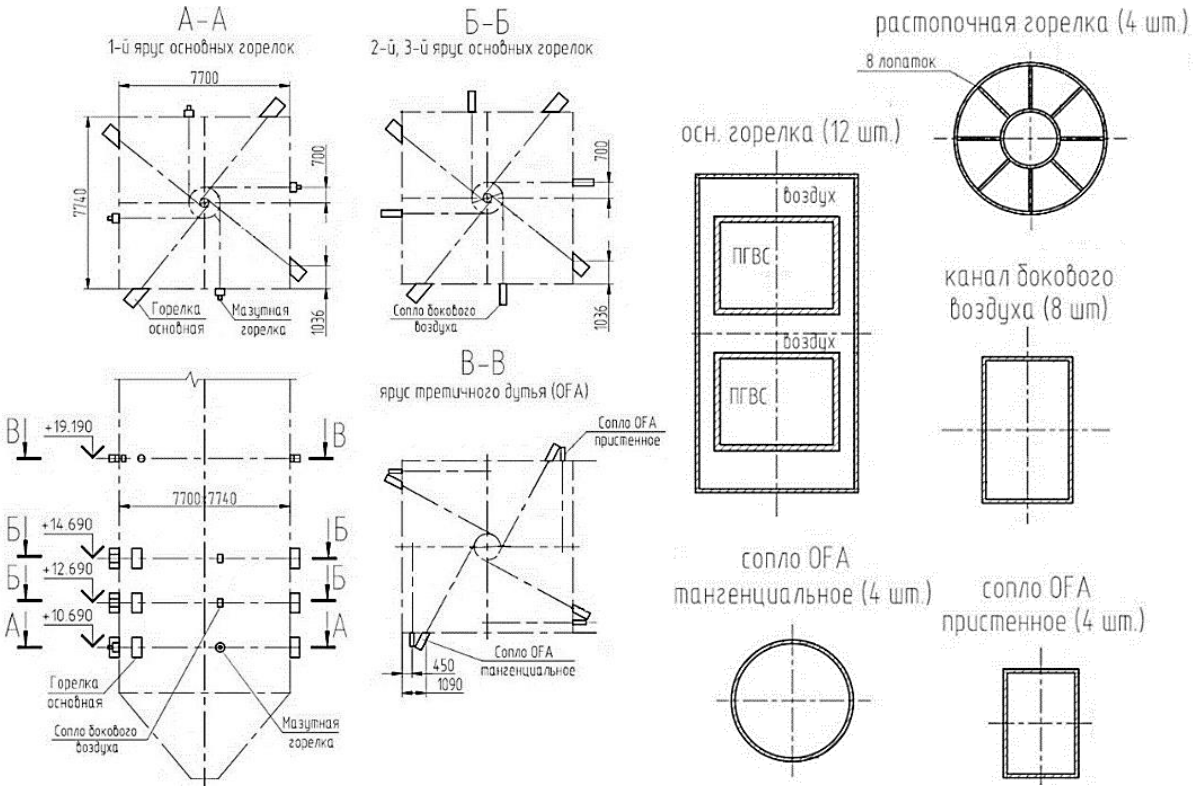


Рис. 1. Конструктивная схема топочной камеры котла Е-240-13,8-560КТ

Для организации устойчивого сжигания топлива в топке рассматриваемого энергетического котла с требуемыми показателями были проведены серии многовариантных расчетов топочных процессов при различных компоновках топочно-горелочных устройств. Вариации технических решений включали в себя: расположение сопел третичного дутья; перераспределение вторичного воздуха между спутными каналами основных горелок и боковыми каналами; местоположение горелок одного яруса вдоль стен топочной камеры и каждого яруса по высоте топки; диапазон тонкости помола угольной пыли.

Для обеспечения эффективного сжигания топлива была необходимареализация взаимодействия топливных струй, струй вторичного и третичного воздуха в топочном пространстве, в качестве ключевого было выбрано такое расположение сопел третичного дутья, в котором пристенный и тангенциальные яруса третичного дутья объединены в один ярус на промежуточной отметке, отстоящей на 4,5 м от третьего яруса горелок. Такое решение позволило обеспечить более полное и равномерное перекрытие кислородом сечения топочной камеры, обеспечивая устойчивый факел и необходимые температуры на входе в ширмовые поверхности нагрева (рис. 2).

Расположение горелок в нескольких разнесенных по высоте топки ярусах позволяет осуществлять так называемую вертикальную ступенчатость сжигания [3]0. Ступенчатая подача топлива позволяет дополнительно уменьшить максимальные температуры в топке, что снижает образование термических NO_x (рис. 3).

Четыре из восьми сопел третичного воздуха выполняются в виде пристенного дутья в «противокрутку» основному потоку для дожигания частиц топлива, отбрасываемых за счет вращательного движения факела к стенам и в углы топочной камеры, а также для защиты экранов от высокотемпературной коррозии в восстановительной среде. Остальные четыре сопла устанавливаются по тангенциальной схеме также с «противокруткой» основному вращению топочных газов, что обеспечивает лучшее смешивание воздуха с пылегазовой средой и более полное выгорание топлива. В сумме на ярус третичного дутья подается 25 % от теоретически необходимого для сжигания воздуха [4].

Наличие ярусов также позволяет производить поярусное подключение горелок к мельницам, в результате чего отключение одной мельницы не приводит к сколько-нибудь значимым изменениям в аэродинамике топки и не влечет к повышению генерации вредных веществ.

Для снижения избытка воздуха на основных горелках часть воздуха подается в 12 боковых сопел, расположенных на уровне ярусов основных горелок.

В качестве мероприятия, повышающего устойчивость процессов горения и надежность работы котла на сниженных нагрузках, проектом предусмотрена глубокая сушка угольной пыли дымовыми газами.

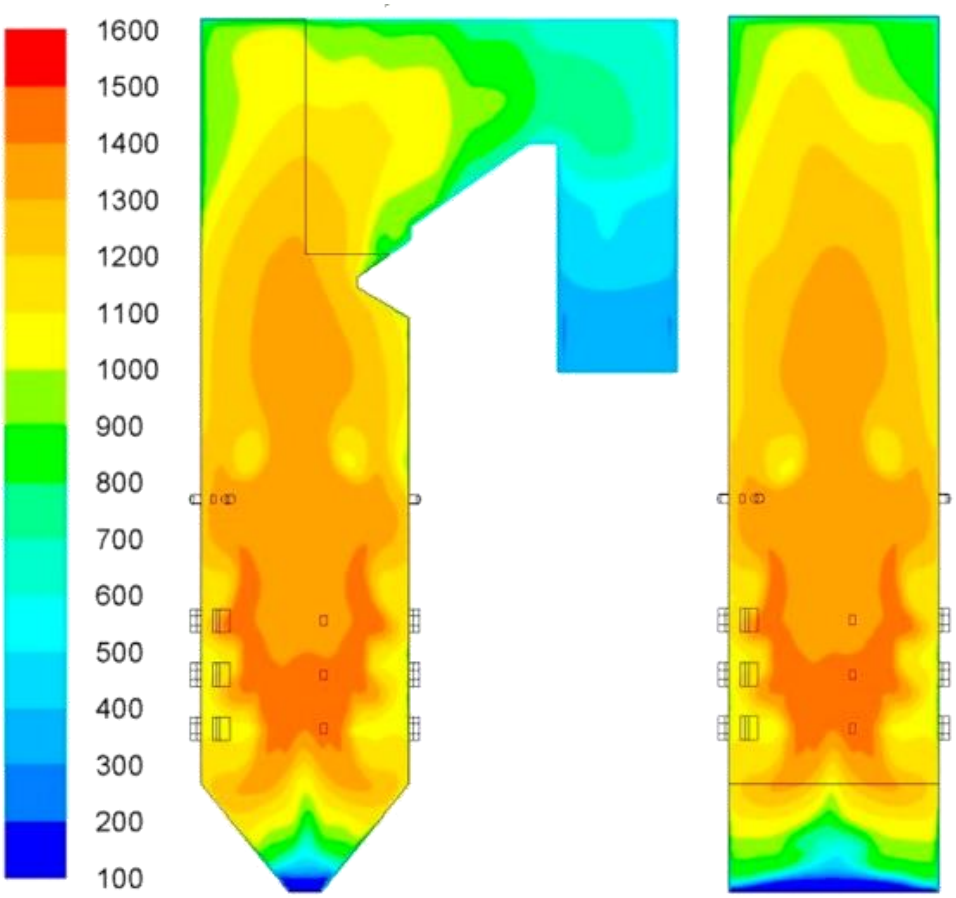


Рис. 2. Поле температур в осевых сечениях топки, °C

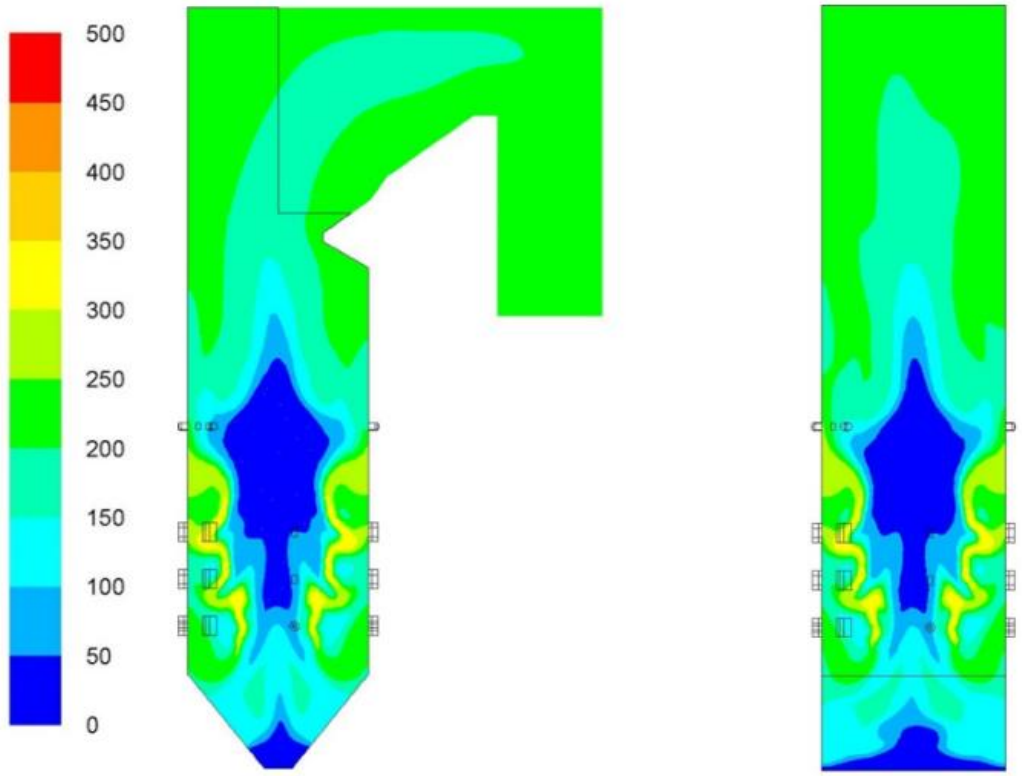


Рис. 3. Поле концентрации NO_x в осевых сечениях топки, ppm

В ходе режимно-наладочных испытаний были определены оптимальные избытки воздуха по ярусам топочной камеры, настроены режимы работы пылесистем.

Таким образом, при номинальной нагрузке котла и работе трех пылесистем КПД «брутто» котла составил 94,9 %, при проектных значениях 93,2 %, повышение эффективности котла обусловлено уменьшением потерь с теплотой уходящих газов q_2 = 4,1 % (проект q_2 = 4,8 %). Также удалось достичь минимальных значений недожога q_4 = 0,4 %. Снизить потери с механическим недожогом позволила система сухого шлакоудаления, обеспечивающая глубокое выгорания горючих веществ в шлаке.

Настройка работы системы улавливания и транспорта сухой золы позволила снизить концентрацию твердых частиц в уходящих газах до 5 мг/нм^3.

Оптимизацией воздушного баланса топочной камеры удалось снизить концентрации оксидов азота в уходящих газах котла до 325 мг/нм^3 (при содержании кислорода 6 %). При этом расчётная модель системы сжигания прогнозировала концентрации выбросов оксидов азота около 370 мг/нм^3.

Выводы

По результатам CFD-моделирования топочных процессов котла и проведении натурных испытаний была освоена система сжигания пылеугольного топлива, при которой удалось достичь концентраций NO_x ниже на 38 % по сравнению с проектными значениями и обеспечить повышение КПД «брутто» котла в абсолютных значениях на 1,7 %.

Низкоэмиссионная система сжигания угля может быть применена и на других котлах, сжигающих разные виды твердого топлива, в т. ч. и биомассу.

Список источников

1. Копань А. В., Клейнерман В. А. Тестирование технических решений по топочно-горелочным устройствам в составе низкоэмиссионной системы сжигания кузнецкого угля // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. № 4. С. 140−147.

2. Жуйков А. В., Матюшенко А. И. Снижение оксидов азота в процессе сжигания канско-ачинских углей // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2014. №5. С. 596−604.

3. Вагнер А. А. Комплексное повышение эффективности ступенчатого сжигания кузнецкого угля на котле с тангенциально направленными горелками и твердым шлакоудалением // Электрические станции. 2004. № 10. С. 38−43.

4. Архипов А. М., Путилов В. Я. Ступенчатое факельное сжигание кузнецких углей на ТЭС // Теплоэнергетика. 2009. № 8. С. 104−109.

УДК 662.767.2.003.13

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА БИОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Л. В. Кулагина[1], В. Н. Копиця[2], М. А. Барабанцов[3]

[1, 3] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[2] Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь
[3] suzuki199@mail.ru

За последние 10 лет в мировой и отечественной практике наблюдается особая тенденция научного и, соответственно, практического интереса в области использования возобновляемых источников энергии (далее – ВИЭ). Растущий с каждым годом интерес к ВИЭ является определяющим фактором преобразования и возможной трансформации существующих энергосистем. В большинстве случаев широко применяемые энергетические технологии (далее – ЭТ) сегодня морально устарели. По этой причине в большинстве государств разрабатываются перспективные программы углеродной нейтральности [1]. Суть этих программ является одной из ключевых идей концепции устойчивого развития. Основная задача подобных программ – использование эффективных технологий по применению ВИЭ с целью сокращения доли парниковых газов, выделяемых в атмосферу.

Аграрная отрасль экономики в промышленных масштабах характеризуется колоссальным количеством отходов органического происхождения. В 2017 г. количество только свиного навоза в Красноярском крае составило 900 тыс. тонн [2]. Это негативно сказывается практически на всех аспектах благосостояния как на государственном, так и на мировом уровне [3]. По этой причине многими развитыми странами достаточно успешно внедряются недооцененные в нашем государстве биогазовые технологии (далее – БТ). Подтверждением этому служит статья [4], в которой приведены данные о бурном росте производимой «зеленой» энергии с помощью БТ в Германии.

Для аграрной отрасли Красноярского края характерно развитое животноводство большинства направлений. Этому благоприятствует множество факторов: климатические, ландшафтные, социально-экономические

© Кулагина Л. В., Копиця В. Н., Барабанцов М. А., 2024

и др. Если говорить о количестве и качестве производимых сегодня сельскохозяйственных товаров и услуг, то в сравнении с эпохой Советской власти ситуация неоднозначная [5]. С одной стороны, после распада СССР на территории современной России резко снизились объемы производства абсолютно всех видов сельскохозяйственных товаров и услуг. С другой, на смену традиционным и местами «топорным» технологиям пришли современные и высокотехнологичные решения. На рис. 1 представлен пример успешного использования роботизированной установки типа «карусель», позволяющей сократить время доения КРС (крупного рогатого скота) до небывалых значений (за 7–10 минут через установку проходит 72 коровы) [6].



Рис. 1. Роботизированная установка DPQ-72 типа «карусель»

В табл. 1 приведены крупнейшие современные производители сельскохозяйственной продукции в крае, а также примерное количество образующихся отходов органического происхождения (навоз и помет). В свою очередь, отходы жизнедеятельности животных являются основным исходным сырьем для производства биогаза [7]. По этим причинам были рассмотрены только животноводческие предприятия и комплексы.

В связи с отсутствием практического опыта по применению биогазовых установок (далее – БУ) на территории Красноярского края была определена цель исследования – оценить перспективы развития БТ на базе животноводческих предприятий Красноярского края.

Задачи исследования:

1) выявить достоинства и недостатки БТ, подходящих по климатическим характеристикам для центральных и южных районов края;

2) выполнить расчет эколого-экономической эффективности БТ методом сравнительного анализа с существующими ЭТ;

3) сделать выводы на основе полученных результатов.

Таблица 1

Крупнейшие производители продукции животноводства в Красноярском крае*

Предприятие / вид продукции	Месторасположение	Количество выпускаемой продукции в сутки			Количество сотрудников, чел.	Количество отходов органического происхождения в сутки	
		1*, тонн	2**, тонн	3***, тыс. шт.		м³	тонн
ИП ГК(Ф)Х Зубарева Н.В/ молочная, мясная	Шушенский район, п. Алтан	107	н. д.	–	565	> 1000	н. д.
ЗАО «Сибирь-1» / молочная, мясная	Шушенский район, п. Синеборск	60	н. д.	–	358	600	н. д.
АО «Сибагро», свинокомплекс «Красноярский» / мясная	пгт Большая Мурта	–	145	–	980	н. д.	н. д.
ОАО «Птицефабрика Бархатовская» / мясная, яйцо	Березовский район, с. Бархатово	–	3,5	600	325	н. д.	100

* Производство сырого молока ** Производство мясной продукции *** Производство яйца
н. д. – нет данных

Примечание. Данные на январь 2023 г.

Материалы и методы

Проведенные исследования [2; 8] указывают на следующие преимущества и возможные проблемы при эксплуатации БУ на территории Красноярского края (табл. 2).

В работах [9–11] применяется типовой расчет характеристик, оценивающих различные составляющие БУ, по значениям которых можно судить об эффективности их использования. По примеру расчетов в перечисленных выше работах определены основные параметры БУ для ЗАО «Сибирь-1». Исходные данные (поголовье КРС, количество образующихся отходов и т.д.) были получены по запросу. Стоит отметить, что запрашиваемые показатели не являются коммерческой тайной.

На рис. 2 представлено сравнение результатов основных характеристик и параметров для восьми вариантов БУ. При выполнении расчетов были использованы различные варианты габаритных размеров предполагаемых резервуаров, а также их количество (два резервуара с общим объемом 4 239 м³ и шесть резервуаров с общим объемом 5015,2 м³). Материал изготовления метантенков – железобетон. Более того, были рассмотрены варианты с использованием теплоизоляционного слоя на ос-

нове минеральной ваты со степенью горючести «НГ» (не горючая), а также без теплоизоляции.

Таблица 2

Основные достоинства и проблемные вопросы при эксплуатации БУ

Достоинства	Проблемные вопросы
– замкнутость производственного цикла с условной безотходностью; – автономное обеспечение тепло-электроэнергией с возможной коммерциализацией излишков; – дополнительная статья выручки от реализации безопасных ГОУ (готовых органических удобрений); – комплексное решение экологических проблем, возникающих при хранении и утилизации отходов; – повышение презентабельности предприятия, в т. ч. экологическое просвещение; – постоянная возможность развития технологий	– отсутствие должного нормативно-правового регулирования данной отрасли, в т. ч. субсидирования; – небольшой практический опыт строительства и эксплуатации в РФ; – высокая стоимость импортного оборудования, отсутствие множества компонентов на отечественном рынке; – суровые климатические особенности, требующие особого подхода к выбору строительных материалов и оборудования

Конечным критерием, по которому можно судить об эффективности использования БУ, является коэффициент товарности БУ ($k_{\text{Т}}$, %). Данный показатель соответствует количеству генерируемой энергии, которую можно использовать для выработки электричества и тепла. Самое высокое значение $k_{\text{Т}} = 80{,}2$ % характерно для варианта № 1 с использованием двух метантенков с общим объемом 4239 м³ и мезофильным (32–34 °С) температурным режимом. Неожиданным является результат сравнения температурных процессов сбраживания. В работах [9–11] приводится обоснование для применения термофильного (свыше 40 °С) режима. По результатам вычислений для заданных условий эксплуатации мезофильный температурный режим является более подходящим.

Таким образом, использование БУ в климатических условиях центральных и южных районов Красноярского края является очень перспективным направлением. При этом возможный ежесуточный выход полезной энергии биогаза может составлять около 20 тыс. КВт·час, что в свою очередь обеспечит полную автономность рассматриваемого предприятия. По причине немалых затрат на проектирование и строительство БУ, требуется тщательный анализ и выбор подходящего оборудования. Именно поэтому переход к углеродной нейтральности требует значительного объема инвестиций в модернизацию большинства производств.

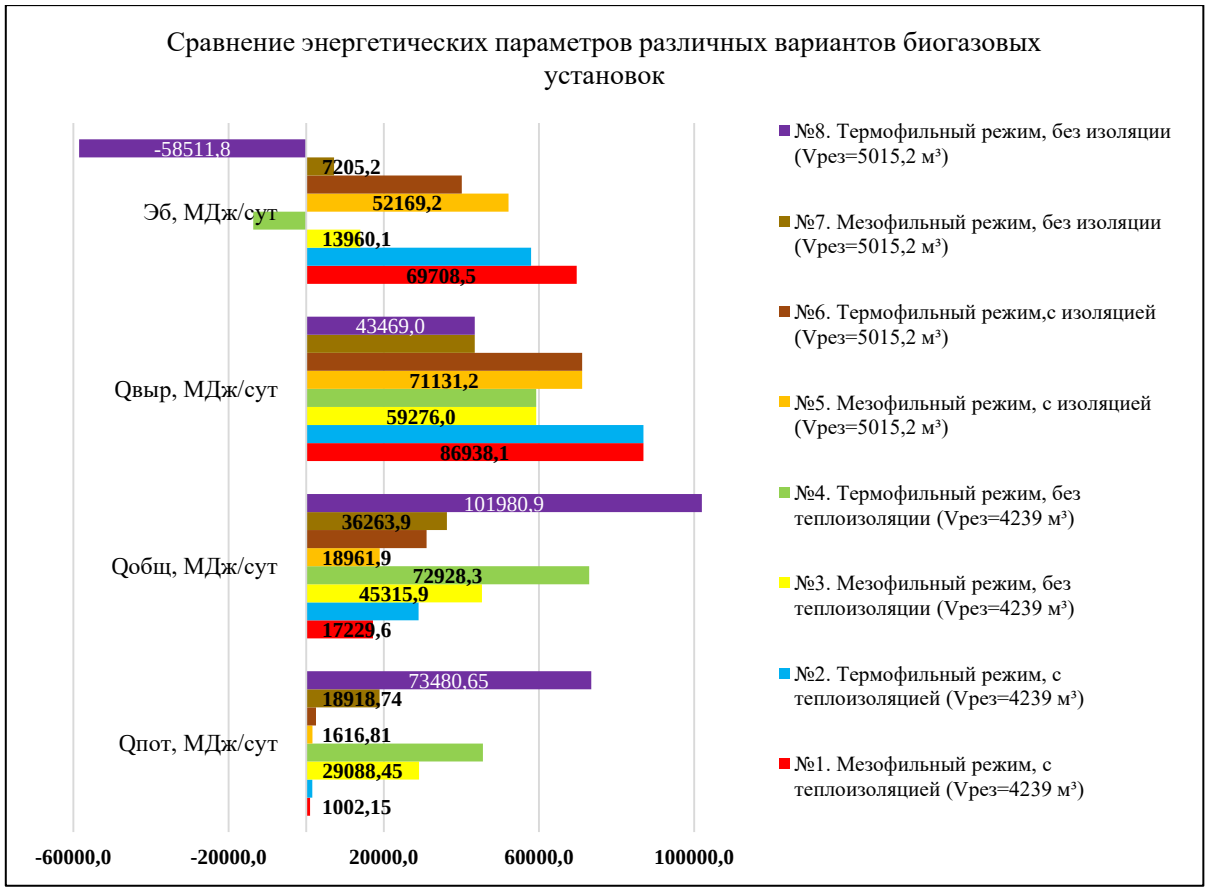


Рис. 2. Результаты расчетов основных параметров БУ: Эб – полезная энергия от БУ; Qвыр – потенциальные запасы энергии биогаза; Qобщ – общие затраты энергии для поддержания процесса; Qпот – тепловые потери через стенки реактора в окружающую среду

Список источников

1. Сухарева М. А., Ленков И. Н., Пуюй Ч. Углеродная нейтральность: перспективы развития и влияние на мировую экономику // Вестник Московского университета. Серия 21: Управление (государство и общество). 2022. № 3. С. 101–121.

2. Баранова М. П., Бастрон Т. Н., Михеева Н. Б. Обоснование создания опытно-промышленной установки для получения биогаза из отходов АПК Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31, № 8. С. 73–75.

3. Качанова Л. С., Бондаренко А. М. Вовлечение потенциальных органических отходов в экономику замкнутого цикла как инструмент обеспечения экономической безопасности государства // Экономическая безопасность. 2022. Т. 5, № 4. С. 1517–1530.

4. Барабанцов М. А. Анализ пожарной безопасности биогазовых установок при использовании на предприятиях агропромышленного сектора // Актуальные проблемы современной науки: взгляд молодых учёных : материалы Национальной научно-практической студенческой конференции, Брянск, 07–08 декабря 2022 года / отв. ред. Е. Д. Селифонова,

Т. А. Степченко, О. В. Тишина. Брянск : Брянский государственный университет имени академика И. Г. Петровского, 2022. Т. 2. С. 144–150.

5. Пивовар А. Д. Модели и механизмы регулирования экономики и экономическая безопасность государства в СССР и современной России, сравнение экономик // Международный студенческий научный вестник. 2023. № 3. С. 35.

6. Животноводческий комплекс, Красноярский край, Шушенский район ГКФХ Зубарева Наталья Владимировна (2023) Общая информация [Сайт]. URL: http://shushenskiy.ru.

7. Баранова М. П., Екатеринчев В. М., Абашев Н. Л. Проблемы проектирования и создания опытно-промышленной установки получения биогаза из отходов животноводства АПК Сибири // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2017. Т. 10, № 1. С. 106–112.

8. Саленков В. Э., Дмитрук С. А., Чебодаев А. В. Проблемы внедрения когенерационных установок на биогазе в АПК Красноярского края // Инновации в науке и практике : сборник статей по материалам XIII международной научно-практической конференции, Барнаул, 26 декабря 2018 года. Ч. 1(5). Барнаул: Общество с ограниченной ответственностью Дендра, 2018. С. 185–190.

9. Расчет эффективности применения биогазовой установки на свинарнике-откормочнике / В. А. Андреев, И. Н. Горбунов, С. Г. Захаренко [и др.] // Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая», Кемерово, 18–21 апреля 2017 года. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2017.

10. Кондра Е. А., Суржко О. А. Расчет экологической эффективности биогазовой установки // Инновационная наука. 2017. № 9. С. 21–24.

11. Кущев Л. А., Суслов Д. Ю. Расчет экономической эффективности использования биогазовой установки с барботажным реактором // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2014. № 5. С. 183–186.

УДК 519.6+531.66

ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ ЗДАНИЙ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ ПРИ УДАРЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Р. С. Лукин

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
rlukin@sfu-kras.ru

В целях обеспечения безопасности объектов энергетики необходимо учитывать целый ряд воздействующих факторов, в т. ч. воздействие землетрясения, ударной волны и прямое попадание в здание воздушного судна [1]. При этом средства защиты зданий должны быть достаточны и экономически целесообразны. Актуальной задачей является применение универсальных методов имитационного моделирования (в частности, метода конечных элементов) на проектном и предварительном этапе разработки объекта энергетики.

В работе рассмотрены вопросы обоснования безопасности функционирования объектов энергетики при столкновении с воздушным судном по результатам численного эксперимента.

Алгоритм расчета прочности и герметичности стен и перекрытий зданий объектов энергетики при ударе воздушного судна состоит из следующих основных этапов:

1) разработать имитационную модель воздушного судна, по характеристикам прочности и жесткости эквивалентной реальному объекту4

2) верифицировать параметры имитационной модели на основании известных экспериментальных данных [2];

3) провести расчет прочности и герметичности с использованием имитационной модели здания и воздушного судна достаточной степени детализации [3].

Для достоверной оценки повреждения объекта энергетики воздушным судном необходимо иметь следующие исходные данные:

– перечень воздушных судов, которые могут находится в воздушном пространстве над объектом энергетики;

– предварительные параметры конструкции стен и перекрытий здания;

© Лукин Р. С., 2024

– удаленность от взлетно-посадочных полос, влияющая на прогнозируемый угол удара и наполненность баков с топливом в момент удара.

В рамках расчёта наблюдается следующий перечень явлений, подразумевающий использование явного решателя, такие как: быстропротекающие явления; большая величина и скорость пластических деформаций; разрушение объектов; необходимость учета детонации топлива при ударе.

При этом необходимо использовать Эйлеров подход к описанию деформации воздушного судная [3]. Как показывают результаты исследований, это дает более достоверные результаты по характеру разрушения воздушного судна и более высокую скорость расчета. В работе [3] также представлено обоснование для разработки специальных моделей материалов (Honeycomb), позволяющих более точно рассчитывать деформацию фюзеляжа в процессе столкновения.

Предварительные расчеты процесса удара самолета в неподвижную железобетонную преграду (экспериментальные данные приведены в [2]) показали необходимость детальной проработки геометрии воздушного судна (пример приведен на рис. 1), а также необходимость учета в расчетной модели относительно недеформируемых двигателей, удар которых значительно увеличивает нагрузку на преграду.

Дальнейшая задача исследования – разработка расчетных моделей, обладающих достаточной степенью достоверности для расчета повреждений податливых преград (стен и перекрытий) при столкновении с воздушным судном.

Список источников

1. ПиН АЭ-5.6 Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа.

2. Бирбраер А. Н., Роледер А. Ю. Экстремальные воздействия на сооружения. СПб. : Издательство Политехнического университета, 2009. 594 с.

3. Новожилов Ю. В., Михалюк Д. С., Феоктистова Л. Ю. Расчет нагрузки на здания ядерного острова АЭС при ударе воздушного судна. // Вычислительная механика сплошных сред. 2018. Т. 11. № 3. С. 288–301.

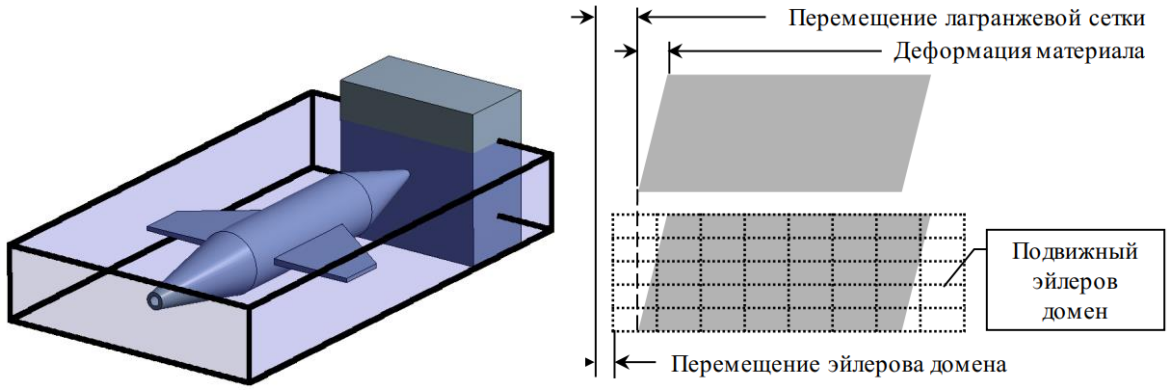


Рис. 1. Общий вид расчетной модели

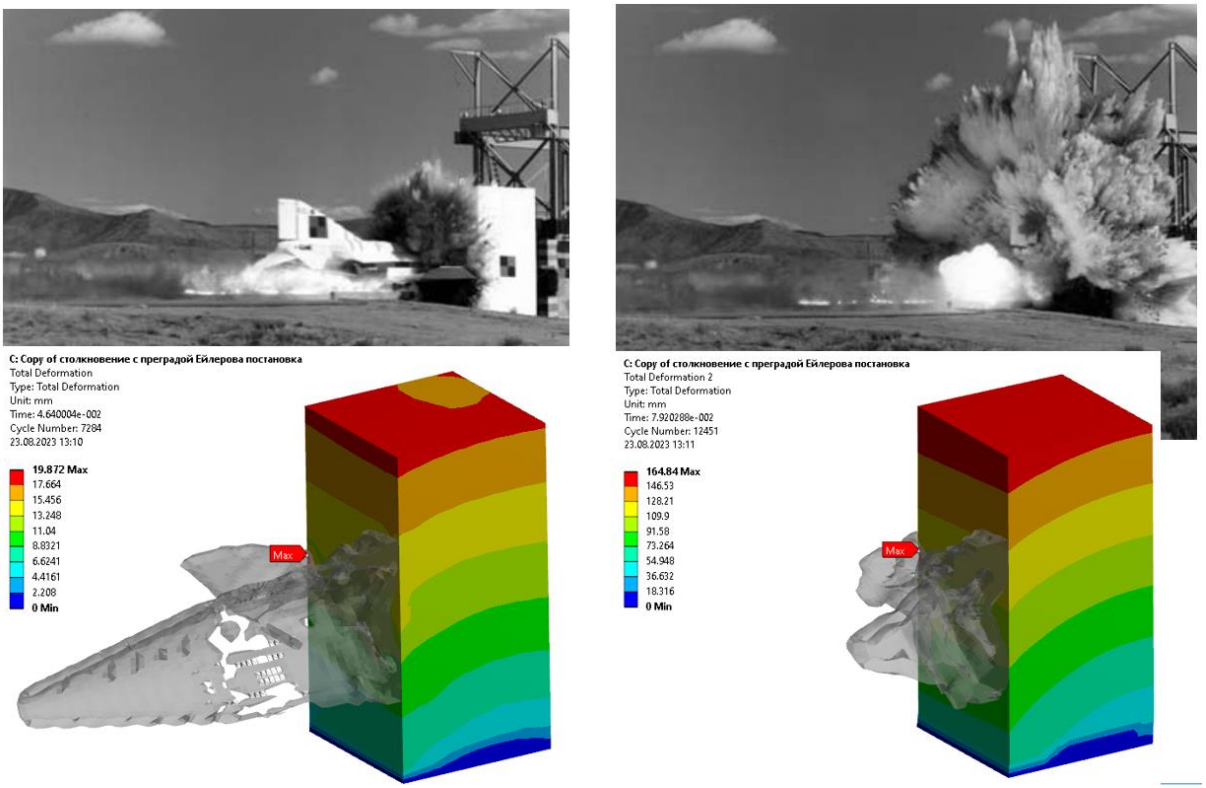


Рис. 2. Сравнение процесса соударения по результатам экспериментального исследования и по результатам численного моделирования

УДК 621.181

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ СХЕМЫ СЖИГАНИЯ В КАМЕРНОЙ ТОПКЕ

К. И. Мальцев[1], А. В. Гиль[2], Н. В. Абрамов[3], С. А. Пузырев[4]

[1, 2, 3, 4]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
[1]kim3@tpu.ru

Организация аэродинамической структуры потока в топочной камере играет важную роль в эксплуатации основного оборудования тепловых электростанций, так как оказывает существенное влияние на организацию сжигания топлива и поддержание эффективности топочного процесса.

Одним из способов сжигания пылевидного топлива является применение тангенциальной компоновки горелочных устройств, которая создает вихревую аэродинамическую структуру, в основном, в центре топочной камеры, тем самым снижая температуру у стен топочной камеры.

Формирование вертикального высокотемпературного вихря с ядром горения вдоль оси топочной камеры позволяет снизить воздействие высокотемпературных зон и наброса факела на экранные поверхности. Для эффективности процессов горения рекомендуется использовать топочные камеры с поперечным сечением, близким к квадратному, где соотношение сторон не превышает 1,2. Это обеспечивает более равномерное распределение аэродинамического потока внутри камеры и обеспечивает оптимальные условия для горения топлива [1].

Однако, тангенциальная компоновка применяется и в паровых котлах, у которых соотношение ширины и глубины топки превышает рекомендованные значения. Например, на Артемовской ТЭЦ в Приморском крае эксплуатируются паровые котлы БКЗ-220-100Ф с соотношением сторон равным 1,4.

Топочная камера прямоугольного сечения 6 656 × 9 536 мм снабжена четырьмя двойными пылевыми щелевыми горелками, расположенными на боковых стенах топочной камеры и направленными по касательной к условной окружности диаметром 1 330 мм (рис. 1).

Паровой котел спроектирован под использование бурого угля Артемовского месторождения, но в связи со значительным сроком эксплуата-

© Мальцев К. И., Гиль А. В., Абрамов Н. В., Пузырев С. А., 2024

ции оборудования и исчерпанием проектного угля в качестве сжигаемого топлива используются каменные угли различных месторождений Приморского края.

Исследование топочных процессов проведено посредством моделирования в программном комплексе ANSYSFluent. Расчетные математические модели и типы граничных условий, выбранные на основе [2–4], аналогичны выбранным моделям и граничным условиям, использованным при определении качества численной модели горения [5]. Распределение частиц по размерам моделируется с помощью распределения Розина – Раммлера, так как оно наиболее точно отображает фракционный состав пылевидного топлива. Течение потока газа описывается системой уравнений Навье – Стокса, усредненных по Рейнольдсу (RANS), которая состоит из уравнений сохранения массы, импульса и энергии. Траектория движения частиц пылевидного топлива в дымовых газах описывается с помощью модели дискретных фаз (DPM). Уравнение переноса лучистой энергии решалось с помощью модели P-1.

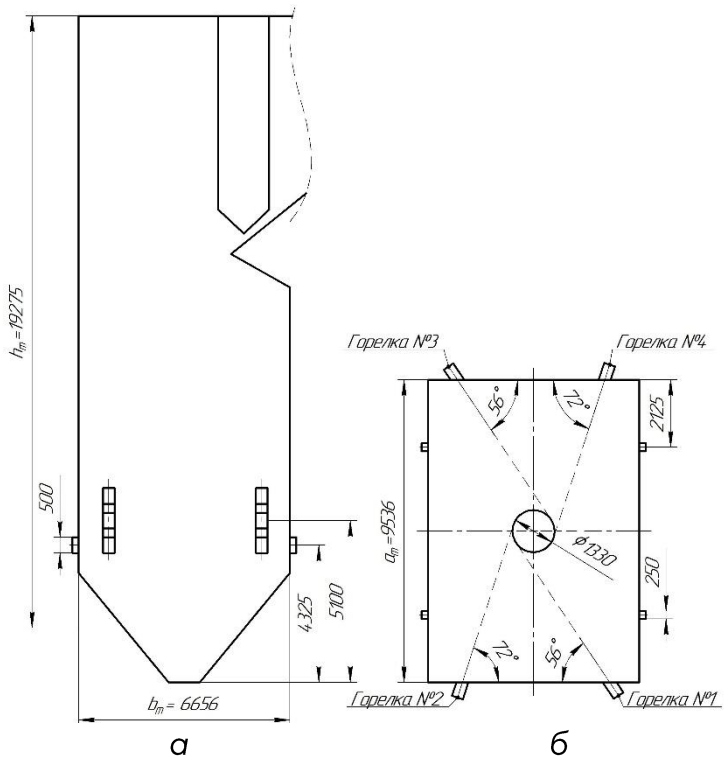


Рис. 1. Эскиз топки парового котла БКЗ-220-100Ф:
а – продольное сечение; *б* – сечение в плане
с расположением горелочных устройств

В работе [5] выявлено, что базовая компоновка горелочных устройств обеспечивает создание вертикального вихря в объеме топочной камеры. Однако выявлено ассиметричное положение вихря относительно прямоугольного сечения топочной камеры (отношение глубины топки к ее

ширине составляет 1,4), вызванное смещением горелочных струй к фронту и тылу топки под влиянием, с одной стороны, зон разрежения вблизи примыкающих к струям экранов, а с другой – сносящего потока от воздействия крутонаправленных соседнихструй. Зона вихреобразования в горизонтальномсечении представляет собой эллипсоид, вытянутый по диагонали топки, также выделяются высокотемпературные зоны в пристеночных областях вблизи углов топочной камеры, образованных экранами левой боковой и фронтовой стен, а также экранами правой боковой и тыльной стен (рис. 2, *а*).

С целью устранения прямого наброса вихря на стены топочной камеры рассмотрен вариант установки четырех сопел на отметке 4 325 мм на фронтовом и тыльном экранах. Через сопла прямоугольного сечения 500 × 250 мм со скоростью 50 м/с осуществляется подача вторичного воздуха в размере 20 % от теоретически необходимого.

Расположение сопел на фронтовом и тыльном экранах позволяет избежать прямого наброса факела на экраны топочной камеры, вихрь располагается в центре (рис. 2, *б*).

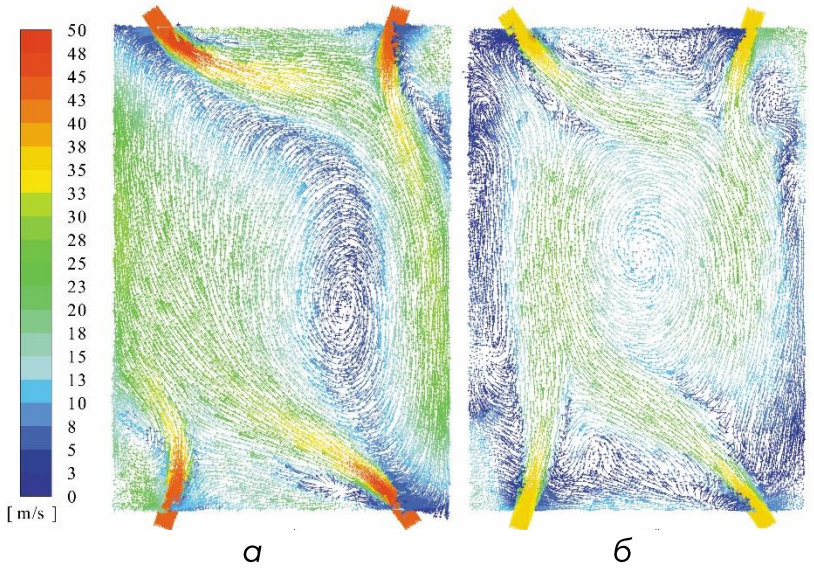
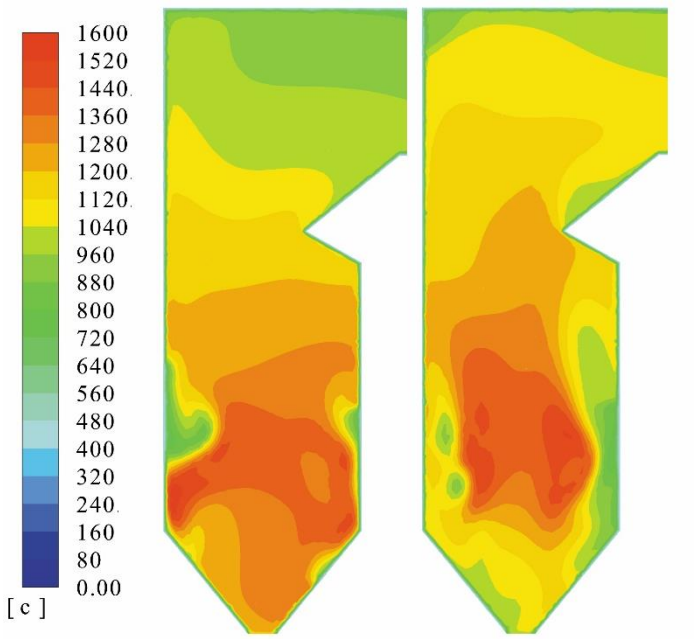


Рис. 2. Векторное поле скоростей в горизонтальном сечении топочной камеры на отметке горелочных устройств:
а – базовый вариант; *б* – с установкой сопел

Распределение температур в топочной камере выглядит следующим образом (рис. 3). В нижней части топки температура составляет около 1 250°С в базовом варианте и 1 150 °С с использованием сопел. С увеличением высоты топочной камеры температура возрастает идостигает максимальных значений 1420–1500 °С незначительно выше уровня расположения горелочных устройств. При дальнейшем подъеме факела температура плавно уменьшается и на выходе из топки составляет 1 085 °С в базовом

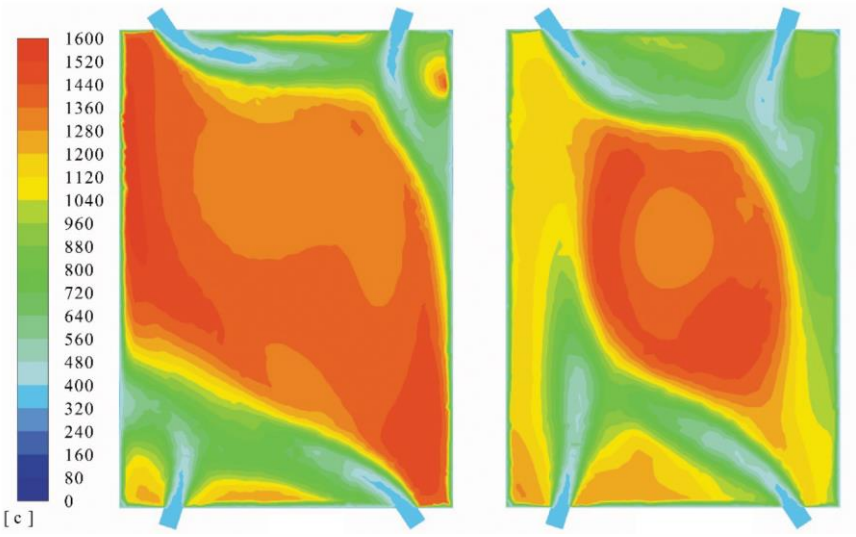
варианте, а с использованием сопел температура на выходе из топки составляет 1 110 °С.



а *б*

Рис. 3. Распределение температур в продольном сечении топочной камеры
а – базовый вариант; *б* – с установкой сопел

В горизонтальном сечении на уровне горелочных устройств (рис. 4, *б*) ядро горения располагается преимущественно в центре топочной камеры и не имеет прямого контакта с экранными поверхностями, что снижает вероятность шлакования и пережога экранных труб.



а *б*

Рис. 4. Распределение температуры в горизонтальном сечении топочной камеры: *а* – базовый вариант; *б* – с установкой сопел

Температура среды вдоль фронтовой и тыльной стен (рис. 5) имеет однородное распределение по ширине топочной камеры и не превышает температуру начала шлакования на расстоянии 0,05–0,15 м (в отличие от базовой компоновки) [5]. Максимальные значения температур наблюдаются на расстоянии 0,20 м от фронтовой стены и составляют 1 200–1 280 °С.

Коэффициент избытка воздуха в базовом варианте составляет 1,19, а с применением сопел – 1,23, что соответствует нормативным значениям [6].

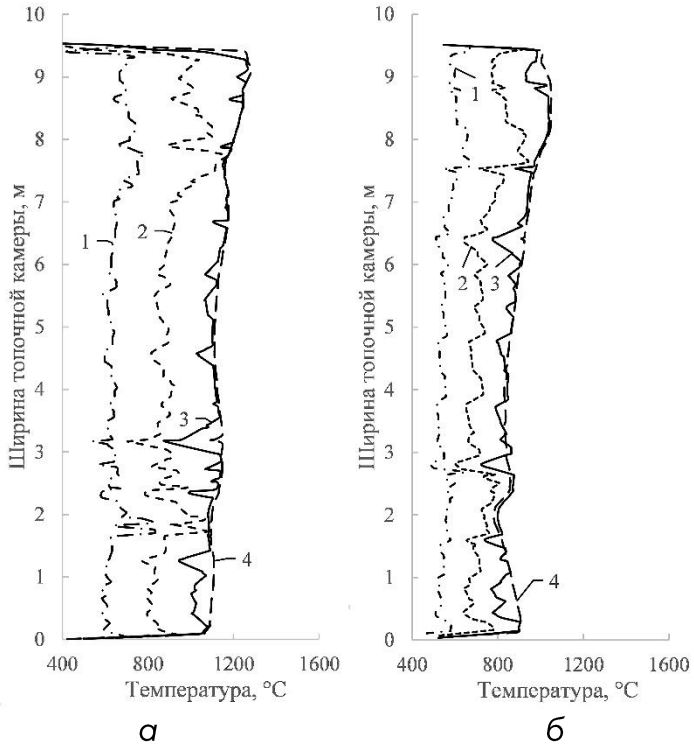


Рис. 5. Распределение температуры в пристеночной области по ширине топочной камеры на уровне горелочных устройств вблизи тыльного (а) и фронтового (б) экранов Расстояние от экранных труб, м: 1 – 0,05; 2 – 0,10; 3 – 0,15; 4 – 0,20

Использование методов численного исследования позволило рассмотреть вариант оптимизации топочных процессов при сжигании каменного угля в котле БКЗ-220-100Ф. При установке дополнительных сопел вторичного воздуха устранены набросы факела на экранные поверхности, таким образом температура в пристеночном слое не превышает температуру начала шлакования, снижая вероятность пережога и шлакования экранных поверхностей. Распределение температуры по высоте топочной камеры в рассматриваемых вариантах качественно не изменяется, однако наблюдается снижение температуры в холодной воронке с 1 250 °С

до 1 150 °С и повышение температуры дымовых газов на выходе из топочной камеры с 1 085 °С до 1 110 °С.

Список источников

1. Хзмалян Д. М., Каган А. Я. Теория горения и топочные устройства. М. : Энергия, 1976. 488 с.

2. Численное исследование влияния избытка воздуха на процессы горения в топочной камере энергетического котла с многоканальными вихревыми горелками / А. В. Гиль, А. С. Заворин, О. М. Кокшарев, Е. С. Воронцова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 9. С. 18–27.

3. Dugum A., Hanjalic K. Numerical simulation of coal-air mixture flow in a real double-swirl burner and implications on combustion anomalies in a utility boiler // Energy. 2019. Vol. 170. P. 942–953.

4. Madejki P. Numerical study of a large-scale pulverized coal-fired boiler operation using CFD modelling based on the probability density function method // Applied Thermal Engineering.2018. Vol. 145. P. 352–363.

5. Численное исследование топочных процессов при сжигании непроектных углей в котле производительностью 220 т/ч / К. И. Мальцев, А. В. Гиль, А. С. Заворин, Д. В. Лебедь // Теплоэнергетика. 2022. № 12. С. 73–83.

6. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). 3-е изд., перераб. и доп. СПб.: НПО ЦКТИ, 1998.

УДК 532.528

ВЛИЯНИЕ НЕКОНДЕНСИРУЮЩИХСЯ ГАЗОВ НА ПАРАМЕТРЫ КАВИТАЦИОННОГО ТЕЧЕНИЯ

А. Ю. Радзюк[1], Д. А. Гришаев[2]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]aradzyuk@sfu-kras.ru

Кавитация – нарушение сплошности жидкой среды, которое происходит при локальном падении давления. В случае дегазированной жидкости процесс парообразования в области низкого давления сменяется процессом конденсации, причем схлопывание парового пузырька происходит стремительно и несимметрично, с образованием кумулятивной струйки. В основном этим объясняются разрушительные эффекты кавитации и механохимические реакции, сопровождающие кавитацию. В реальных процессах движущиеся среды в большинстве случаев дополнительно содержат в себе газы, что существенно меняет картину кавитационного течения.

В случае многокомпонентных жидкостей вариантов нарушения сплошности еще больше: жидкие компоненты смеси, как правило, имеют разные температуры и давления фазового перехода, газы имеют разную растворимость в компонентах смеси и могут находиться в жидкости в растворенном виде или в виде микропузырьков, твердые компоненты выполняют роль ядер парообразования. На проявление кавитации влияют вязкость, поверхностное натяжение, смачиваемость, протекающие в жидкости химические реакции, и т. д. Многообразием происходящих в зоне фазовых переходов взаимодействий объясняется разнообразие эффектов, сопровождающих кавитацию.

Для жидкости, содержащей растворенные газы, кавитация помимо фазового перехода связана с переходом газа из растворенного состояния в свободное. В зависимости от того, чем заполнена кавитационная каверна, можно выделить газовую, парогазовую и паровую кавитацию [1, 2]. При газовой кавитации каверна заполнена только неконденсирующимися при параметрах, имеющихся в потоке, газами. Паровая кавитация подразумевает полное отсутствие в потоке газов, которые могут попасть в каверну. Отличие парогазовой от паровой кавитации заключается в присутствии в кавитационной каверне, кроме пара, неконденсирующихся при параметрах течения газов. Очевидно, что давление в каверне при парогазовой кавитации будет больше на величину парциального давления этих газов.

© Радзюк А. Ю., Гришаев Д. А., 2024

Рассмотрим обтекание препятствия при постоянной скорости с постепенным ростом температуры потоком, содержащим растворенные газы. В соответствии с законом Бернулли в области за минимальным сечением будет область с минимальным давлением. При наличии в потоке неконденсирующихся газов эти газы в этой области будут высвобождаться из потока и образовывать сначала кавитационные пузырьки, а затем кавитационную каверну. С ростом температуры давление в каверне будет расти пропорционально температуре газов. При достижении значения температуры потока, равного температуре насыщения для давления в каверне, начинается процесс парообразования, давление в каверне становится равным сумме давления насыщенного пара и парциального давления газа. Дальнейший рост давления в каверне будет идти примерно параллельно линии насыщения.

С целью подтвердить описанный механизм перехода от газовой к парогазовой кавитации были произведены непосредственные измерения давления в кавитационной каверне на экспериментальной прямоточной кавитационной установке, описанной в [3, 4]. Обтекаемый потоком конус имел канал для соединения с измерительным контуром. Давление в каверне определялось образцовым вакуумметром мод. 1227 с классом точности 0,25. Схема измерения, собранная на экспериментальной установке, приведена на рис. 1. Измерения проводились с водопроводной водой, регистрировались температура и скорость потока, давление в каверне и еедлина.

Полученные зависимости давления в каверне от скорости и температуры потока приведены на рис. 2. Каждая из кривых, образованных экспериментальными точками, соответствует одной скорости потока, красная линия – параметрам насыщения. Точки с более интенсивной окраской соответствуют большей скорости потока. Приведенные данные наглядно подтверждают описанную зависимость давлений: в начальной области кривой давление в каверне растет монотонно, при достижении параметров насыщения далее растет в соответствии с ними.

Для удобства анализа данные были представлены в виде трехмерных массивов (рис. 3, 4). Семейства точек для разных скоростей потока, образующие кривые, были объединены плоскостью, а параметры насыщения – поверхностью. Жирная линия на графиках соответствует параметрам описанного перехода.

Данные, приведенные на рис. 3, были дополнены информацией о длине каверны (рис. 4). Ввиду сложности графического представления сразу четырех параметров, от значений давления на этих графиках пришлось отказаться, однако кривая, характеризующая момент перехода от газовой к парогазовой кавитации (жирная линия), перенесена на эти графики по соответствующим значениям температуры и скорости. В единую поверхность на рис. 4 данные объединены с использованием метода

локальной полиномиальной регрессии (LOESS) в программе OriginPro. По графикам видно, что момент перехода от газовой к парогазовой кавитации происходит в области развитого кавитационного течения, длина каверны составляет примерно от 3 до 25 диаметров обтекаемого препятствия.

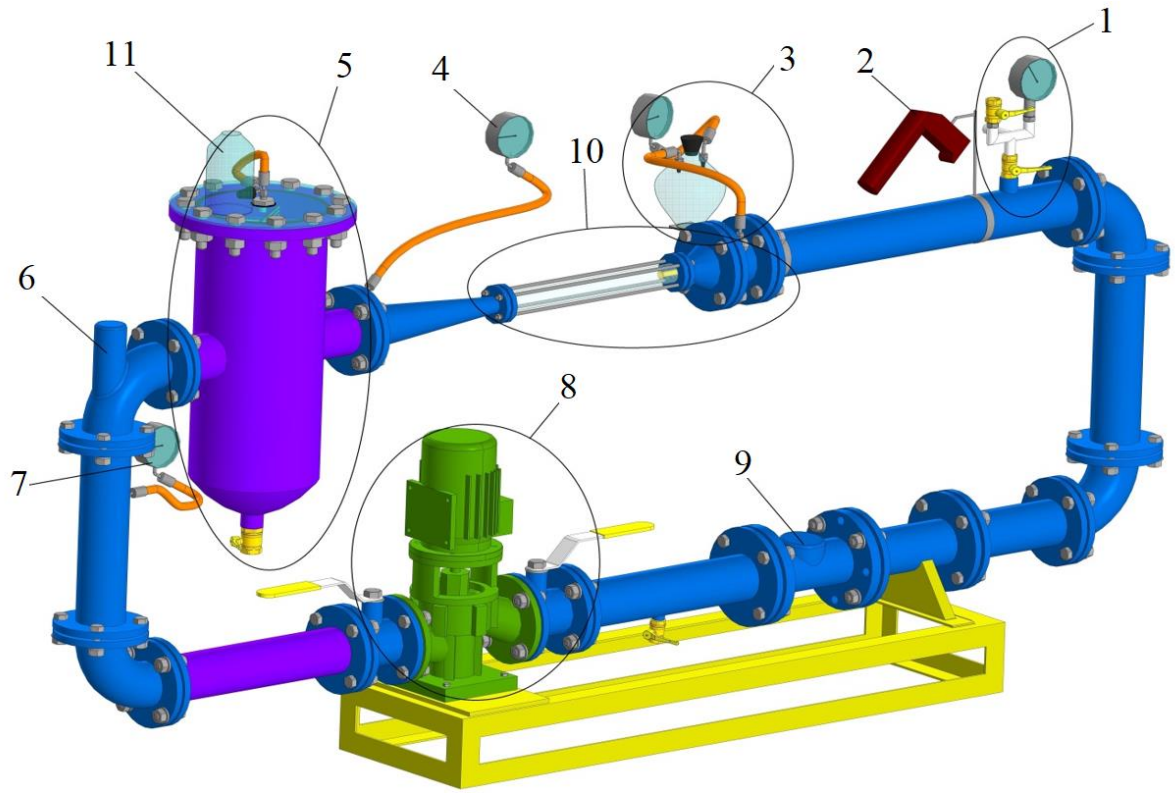
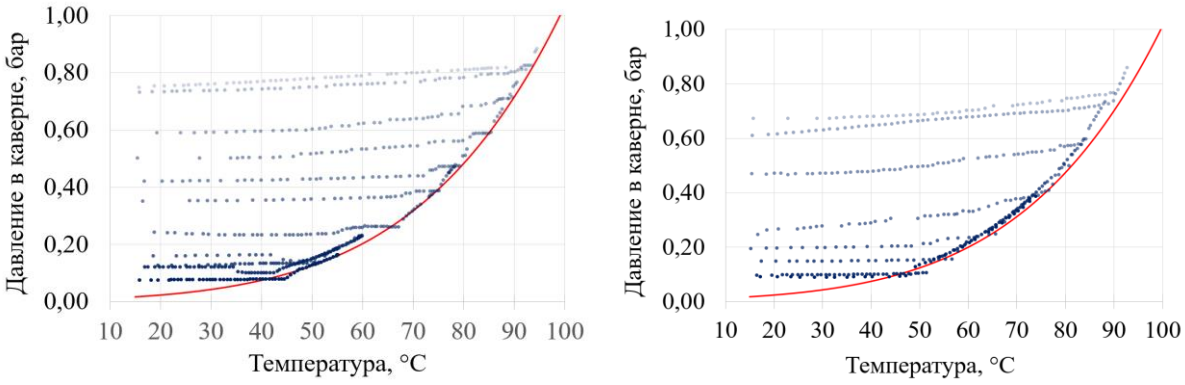
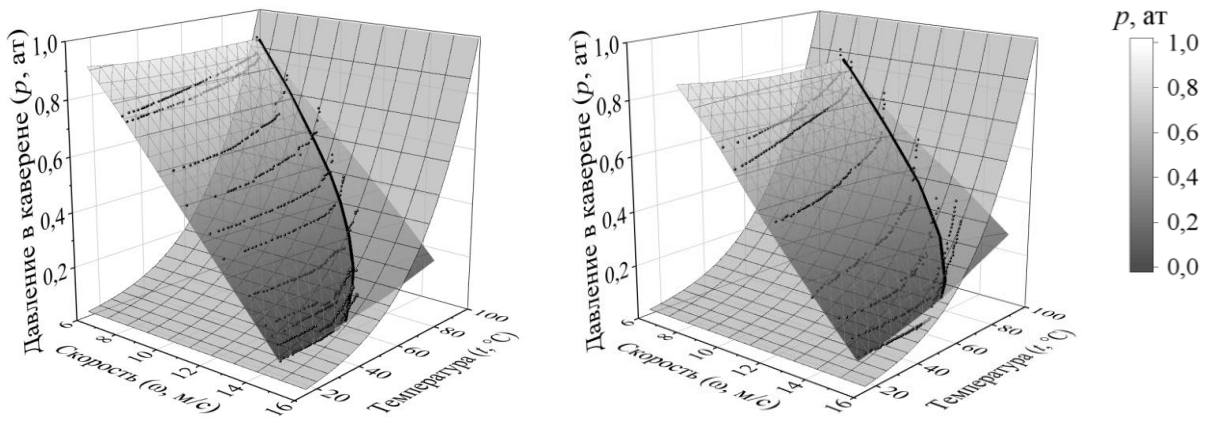


Рис. 1. Экспериментальная установка: *1* – система для заполнения установки; *2* – пирометр; *3* – вакуумметр с ресивером и запорной арматурой; *4*, *7* – манова-куумметры; *5* – сепаратор воздуха; *6* – нагреватель; *8* – насос; *9* – счетчик расхода воды; *10* – рабочий участок; *11* – емкость для отслеживание уровня воды



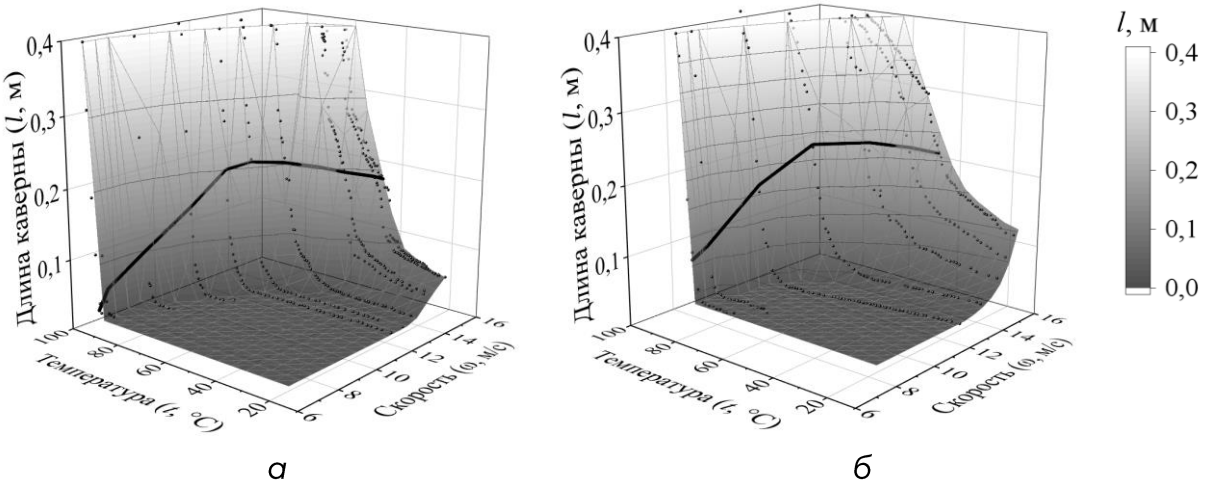
а *б*

Рис. 2. Зависимость давления в каверне от температуры:
а –конус 15,45 мм; *б* – конус 21,75 мм



а *б*

Рис. 3. Зависимость давления в каверне от температуры и скорости:
а – конус 15,45 мм; *б* – конус 21,75 мм



а *б*

Рис. 4. Зависимость длины каверны от температуры и скорости:
а – конус 15,45 мм; *б* – конус 21,75 мм

Анализ полученных данных показал, что жирные кривые на рис. 4 принадлежат одной плоскости, проходящей через эти точки в координатах *температура – скорость – длина каверы*, значит переход от газовой к паровой кавитации можно описать следующим эмпирическим уравнением:

$$l_{кр} = 0,037\omega + 0,0033t - 0,49.$$

Таким образом, на основе прямых измерений давления в каверне за различными обтекаемыми препятствиями в широком диапазоне температур и скоростей потока определен момент перехода от газовой к парогазовой кавитации. Все серии данных, снятые для разных скоростей потока и геометрии обтекаемого препятствия, показали абсолютно идентичную динамику: сперва с ростом температуры давление растет монотонно, зави-

симость от температуры близка к линейной. После достижении значения температуры, примерно равного температуре насыщенных паров, давление начинает расти согласно зависимости давления насыщения от температуры насыщения. Это может указывать только на то, что происходит изменение среды, заполняющей кавитационную каверну. Сперва каверна заполнена воздухом, высвободившимся из потока, и давление с температурой связаны уравнением состояния идеального газа, а затем каверна заполняется паром и его параметры соответствуют давлению и температуре насыщения.

Приведенные результаты могут быть подвергнуты дополнительному уточнению, с целью минимизации возможности ошибки можно повторить описанные эксперименты, изменив динамику эксперимента с роста температуры на ее уменьшение, а также варьируя скорость потока при постоянной температуре.

Полученные результаты и предложенное эмпирическое уравнение могут быть использованы при моделировании кавитационного обтекания, сейчас в большинстве моделей в качестве критерия начала кавитации используется местное падение давления до давления насыщенного пара. Определяющее значение собранные данные имеют при проектировании кавитационных технологических установок, например, кавитационных парогенераторов и кавитационных опреснительных аппаратов.

Список источников

1. Кнэпп Р., Дейли Дж. Хэммит Ф. Кавитация. М. : Мир, 1974. 687 с.
2. Рождественский В. В. Кавитация. Л. : Судостроение. 1977. 248 с.
3. Радзюк А. Ю., Кулагин В. А., Истягина Е. Б., Пьяных Т. А. Модернизация ка-витационного стенда для исследования двухфазных режимов течения // Журнал СФУ: Техника и технологии. 2019. № 12 (4). С. 468–475.
4. Radzyuk A. Yu., Kulagin V. A., Istyagina E. B., Pyanykh T. A., Grishina I. I. The determination of the dependence of the cavern length on the flow velocity on an experimental hydrodynamic workbench // Journal of Physics: Conference Series. 1399(2), 2019.

УДК 662.613.1+622.257.12

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНЫХ ФРАКЦИЙ ВЫСОКОКАЛЬЦИЕВЫХ ЗОЛ НА ПЛОТНОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ ТАМПОНАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О. М. Шаронова[1], С. С. Добросмыслов[2], А. Г. Аншиц[3]

[1, 3] Институт химии и химической технологии СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН», Красноярск, Россия
[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]shar@icct.ru

Использование летучих зол (далее – ЛЗ) теплоэнергетики в качестве компонентов тампонажных цементов не только способствует их утилизации, но и может оказывать значительное влияние на технологические характеристики тампонажных растворов и тампонажного камня, а также на степень замещения портландцемента. Эффективность их применения значительно различается в зависимости от состава и дисперсности летучих зол. Алюмосиликатные ЛЗ способствуют улучшению растекаемости цементных растворов и увеличению долговременной прочности цементного камня [1]. Высококальциевые ЛЗ, кроме того, способны увеличивать раннюю прочность и замещать более высокую долю портландцемента [2].

Наиболее перспективными для использования являются высококальциевые ЛЗ, отобранные на разных полях электрофильтров установок золоулавливания, поскольку они представляют собой дисперсные продукты, в значительной мере стабилизированные по фракционному, химическому и фазовому составу по сравнению с золами золоотвалов [3]. Влияние таких высококальциевых ЛЗ на цементирующие материалы, в особенности на тампонажные, практически не изучено.

Целью данной работы является исследование влияния разных фракций дисперсных высококальциевых ЛЗ на параметры растекаемости и плотности тампонажных растворов, плотности и прочности тампонажного камня.

Исходные фракции высококальциевых ЛЗ

Объектами исследования были четыре фракции (Fr1–Fr4) высококальциевых ЛЗ, полученных от пылевидного сжигания бурого угля марки Б2 и отобранных с каждого из четырех полей электрофильтров Краснояр-

© Шаронова О. М., Добросмыслов С. С., Аншиц А. Г., 2024

ской ТЭЦ-2. Сжигание угля осуществлялось в котлоагрегатах марки БКЗ-420 при температуре 1 400–1 500 °С с жидким шлакоудалением, выход летучей золы и шлака – 65 % и 35 % соответственно. В работе использованы также портландцемент ЦЕМ I 42,5Н (далее – ПЦ) по ГОСТ 31108–2016 и портландцемент тампонажный ПЦТ-I-G-СС-1 (далее – ПЦТ) по ГОСТ 1581–2019 Красноярского цементного завода.

Подготовка объединенной пробы и проб для испытаний выполнена по ГОСТ 23148–98. Распределение по размерам частиц, химический и фазовый состав фракций Fr1–Fr4 детально описаны в работах [4, 5] и частично приведены в табл. 1. Эти фракции состоят из микросфер разного состава и морфологии и, как следует из табл. 1, значительно отличаются по размерам частиц – в ряду фракций от Fr1 до Fr4 величина d90 снижается от 40 до 10 мкм, а d50 – от 13 до 4 мкм. В химическом составе фракций [4] сумма пяти компонентов (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO) составляет 94,06 ± 0,08 %, среди них преобладает CaO (от 40 до 46 %), содержится достаточно много SiO_2 (от 21 до 28 %) и существенно меньше Al_2O_3 от 4 до 7, Fe_2O_3 от 12 до 14 и MgO от 8 до 10 %. В фазовом составе (табл. 1) преобладает аморфная фаза (19–42 %), содержание которой возрастает от Fr1 к Fr4, присутствуют фазы алюмината и алюмоферрита кальция – $Ca_3Al_2O_6$ (10–16 %) и $Ca_2Fe_xAl_yO_5$ (13–19 %), содержание которых несколько выше, чем в ПЦ. Основными отличиями состава фракций от ПЦ является отсутствие силикатов кальция Ca_3SiO_5 и Ca_2SiO_4, которые в ПЦ составляют около 74 % и определяют его вяжущие свойства, и значительное количество фаз несвязанных оксидов CaO (4–24 %), MgO (6–9 %), SiO_2 (5-9%).

Таблица 1

Характеристики исходных четырех фракций высококальциевых летучих зол [4]

Фрак-ция	Нас. плот., г/см^3	d90, мкм	d50, мкм	Sуд, м^2/г	Фазы								
					$Ca_3Al_2O_3$	$Ca_2Fe_xAl_yO_5$	CaO	MgO	α - SiO_2	$CaCO_3$	$CaSO_4$	Ферро-шпинель	Стеклофаза
Fr1	1,74	40	12	0,85	12,7	18,7	23,5	9,3	6,2	-	7,4	3,2	19,0
Fr2	1,46	40	13	1,14	16,0	13,4	14,6	7,5	9,1	3,9	4,8	2,1	28,6
Fr3	1,28	30	9	1,52	14,7	13,8	14,0	6,9	6,7	3,0	5,8	2,6	32,6
Fr4	1,18	10	4	2,36	9,9	16,9	4,2	5,7	5,3	4,9	6,5	2,4	42,1

Растекаемость и плотность тампонажных растворов

Для исследований были приготовлены растворы на основе 100 % каждой из четырех фракций высококальциевых ЛЗ при отношении *вода : связующее* В/С = 0,5, а также в смеси с ПЦ при содержании каждой

из фракций 50 % и 20 %; для Fr3 еще дополнительно с содержанием 40 % и 30 %. Для сравнения в аналогичных условиях были приготовлены цементные растворы на основе 100 % ПЦ и 100 % ПЦТ. Испытания растекаемости (*F*) выполнены по ГОСТ 34532–2019 «Цементы тампонажные. Методы испытаний». Согласно требованиям к тампонажным растворам их растекаемость должна быть не менее 200 мм.

Из данных рис. 1 следует, что величина *F* растворов на основе 100 % ЛЗ радикально снижается (от 261 до 70 мм) при переходе от Fr1 к Fr4. В работе [5] установлено, что величина F коррелирует с удельной поверхностью фракций ЛЗ и описывается уравнением линейной регрессии $F=364-125 \cdot S_{уд}$ с коэффициентом корреляции $r = -0{,}9996$. Из рис. 1 также следует, что растекаемость большинства изученных зольных и цементно-зольных растворов удовлетворяет требованиям к тампонажным растворам, за исключением составов на основе 100 % Fr3, а также 100 % и 50 % Fr4.

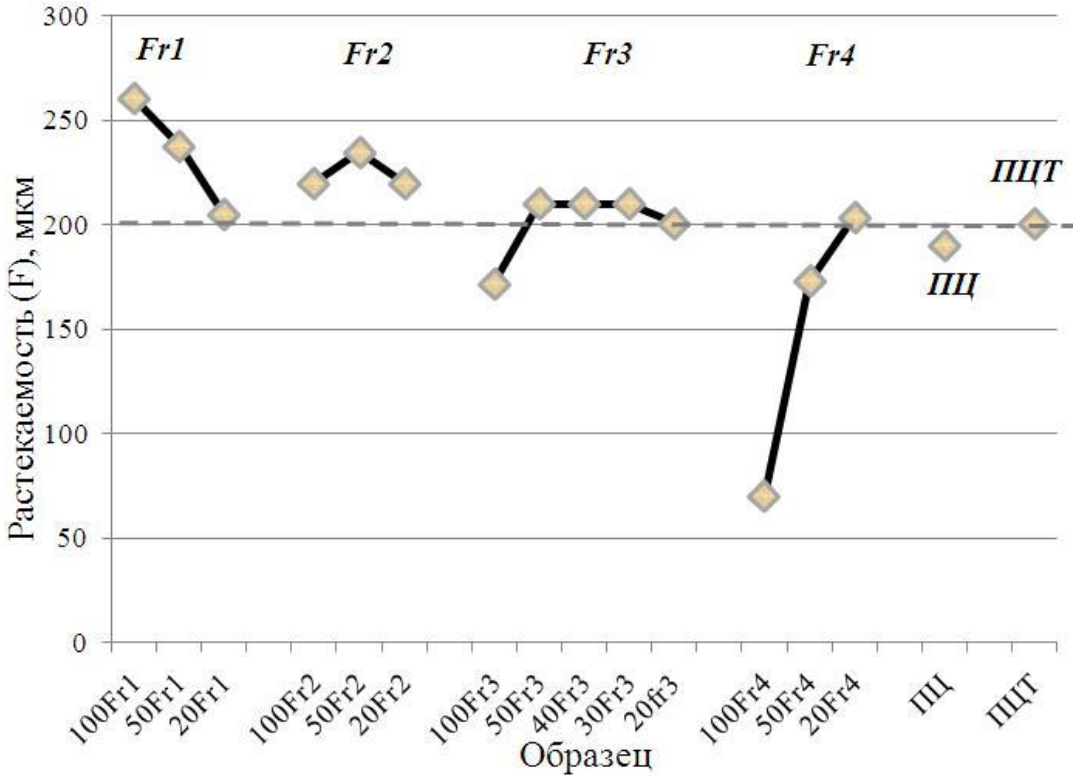


Рис. 1. Растекаемость (F) зольных, цементно-зольных и цементных растворов

Пикнометрическая плотность определена для растворов по ГОСТ 34532–2019, выполнено сравнение с растворами на основе ПЦ и ПЦТ (табл. 2). Величина плотности находится в интервале 1,76–1,82 г/см^3, что близко плотности цементных растворов (1,83 г/см^3) и соответствует интервалу плотности нормальных тампонажных растворов 1,61–1,99 г/см^3 по ГОСТ 1581–2019 «Портландцементы тампонажные».

Таблица 2

Пикнометрическая плотность (г/см³) тампонажных растворов на основе 100 % ПЦ и ПЦТ, 20 и 100 % Fr1, 20 и 40 % Fr3

Образец	ПЦ	ПЦТ	20Fr1	100Fr1	20Fr3	40Fr3
Плотность	1,83	1,83	1,82	1,76	1,82	1,77

Плотность и прочность тампонажного камня

Плотность цементного камня является важной характеристикой, напрямую связанной с его прочностью. Средняя плотность образцов в виде кубиков 20 × 20 мм определена по ГОСТ 12730.1–2020. Величина плотности возрастает в процессе твердения (рис. 2), при этом для каждого состава исследуемых образцов существует индивидуальная зависимость возрастания плотности от времени твердения – от 2 до 150 суток. Наибольшую плотность имеют образцы на основе 100 % ПЦ (1,78–1,9 г/см^3), а для образцов на основе 100 %-ных фракций ЛЗ плотность значительно снижается в ряду от Fr4 (1,67–1,78 г/см^3) до Fr1 (1,2–1,28 г/см^3) (рис. 2, *а*). Похожая тенденция, но в более узком интервале изменений, наблюдается для цементно-зольных составов с содержанием 20 % ЛЗ – уменьшение плотности происходит от 1,8–1,86 г/см^{3}для образца 20Fr4 до 1,63–1,75 г/см^3 для образца 20Fr1 (рис. 2, *б*).

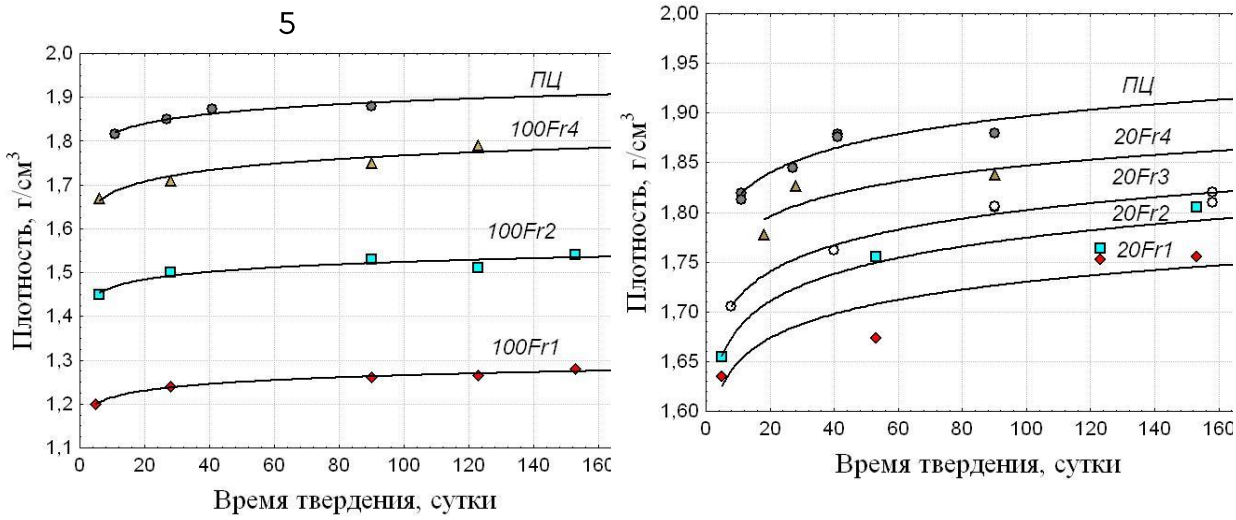
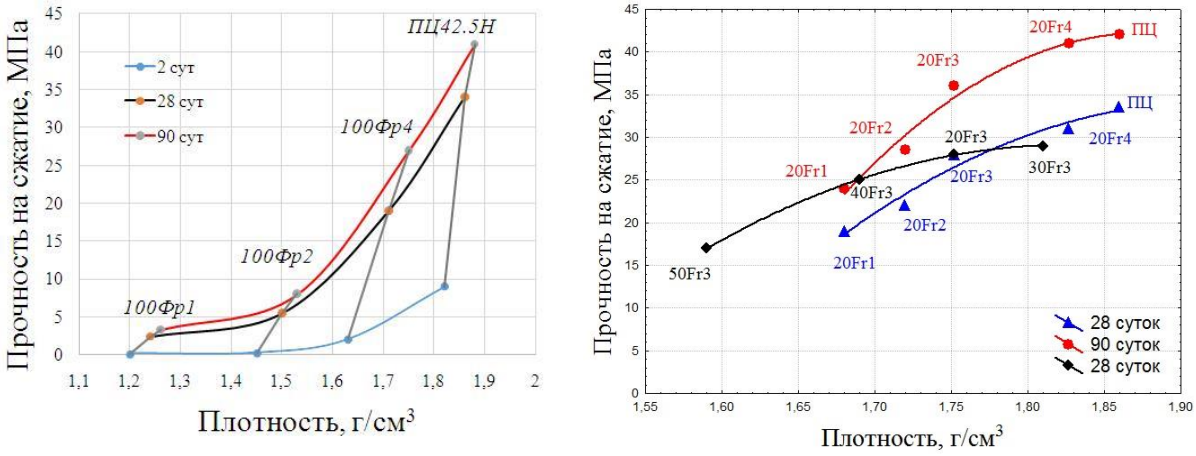


Рис. 2. Зависимость средней плотности образцов от времени твердения:
а – на основе ПЦ и на основе фракций с содержанием 100 % ЛЗ;
б – при содержании 20 % ЛЗ

Увеличение плотности со временем твердения происходит в результате физико-химических превращений исходного вяжущего материала при взаимодействии с водой. В результате образуются прочные структуры гидратных соединений в пространстве, первоначально заполненном водой.

Активность в гидратации снижается с уменьшением дисперсности вяжущего материала, т.е. в ряду Fr4 > Fr3 > Fr2 > Fr1. Другим фактором уменьшения плотности отвержденных образцов является образование гидроксидов $Ca(OH)_2$ и $Mg(OH)_2$ при гидратации свободных CaO и MgO, занимающих в два раза больший объем, а также образования сульфоалюминатов кальция типа эттрингита $3CaO•Al_2O_3•3CaSO_4•31H_2O$ из алюминатов и сульфата кальция с объемом в 2,2 раза больше исходных веществ. Поэтому увеличение содержания фаз CaO, MgO, $CaSO_4$ может также способствовать снижению плотности от Fr4 к Fr1. Из данных рис. 3 следует, что наблюдается общая зависимость возрастания прочности на сжатие по мере увеличения плотности образцов. Низкую прочность имеют образцы на основе 100 % Фр1 и Фр2 (рис. 3, *а*) и, следовательно, для повышения их прочности необходима дополнительная активация. Достаточно перспективными являются цементно-зольные составы с содержанием 20 % каждой из четырех фракций (рис. 3, *б*). По совокупности характеристик наибольший интерес представляют составы с содержанием 20–40 % Фр3.



а *б*

Рис. 3. Зависимость прочности на сжатие от средней плотности отвержденных образцов

Таким образом, выполнены исследования четырех промышленных фракций высококальциевых летучих зол (Fr1–Fr4) в качестве компонента тампонажных материалов. Определены составы тампонажных растворов в интервале содержания зольных фракций 20–100 %, удовлетворяющих критерию по растекаемости, для них проведены испытания пикнометрической плотности, из которых следует, что они близки плотности раствора коммерческого тампонажного цемента. Определены также плотность и прочность на сжатие цементного камня и установлено, что величина плотности и прочности уменьшается в ряду Фр4 > Фр3 >Фр2 > Фр1. Установлена общая зависимость возрастания прочности от увеличения плотности образцов при времени твердения в течение от 2 до 150 суток.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии и химической технологии СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН (проект FWES-2021-0013) с использованием оборудования Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН.

Список источников

1. Jiang D., Li X., Lv Y., Zhou M., He C., Jiang W., Liu Z., Li C. Utilization of limestone powder and fly ash in blended cement: Rheology, strength and hydration characteristics // Constr. Build. Mater. 2020. V. 232. 117228.

2. Ahari R. S., Erdem T. K., Ramyar K. Permeability properties of self-consolidating concrete containing various supplementary cementitious materials // Constr. Build. Mater. 2015. V. 79. P. 326–336.

3. Sharonova O. M., Solovyov L. A., Oreshkina N. A., Yumashev V. V., Anshits A. G. Composition of high-calcium fly ash middlings selectively sampled from ash collection facility and prospect of their utilization as component of cementing materials // Fuel Process. Technol. 2010. V. 91. P. 573−581.

4. Sharonova O. M., Yumashev V. V., Solovyov L. A., Anshits A. G. The fine high-calcium fly ash as the basis of composite cementing material // Mag.Civ. Eng. 2019. Vol. 91. P. 60–72.

5. Шаронова О. М., Дубровин Д. Ф., Добросмыслов С. С., Аншиц А. Г. Влияние дисперсных высококальциевых угольных летучих зол на свойства композитных цементов // Химия в интересах устойчивого развития. 2022. № 5. С. 559–566.

Секция 2

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

УДК 621.791.927.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ КОСВЕННОЙ ДУГИ МЕЖДУ ПЛАВЯЩИМИСЯ ЭЛЕКТРОДАМИ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

А. А. Безруких[1], М. А. Походяев[2]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]bezrukich_andrey@mail.ru

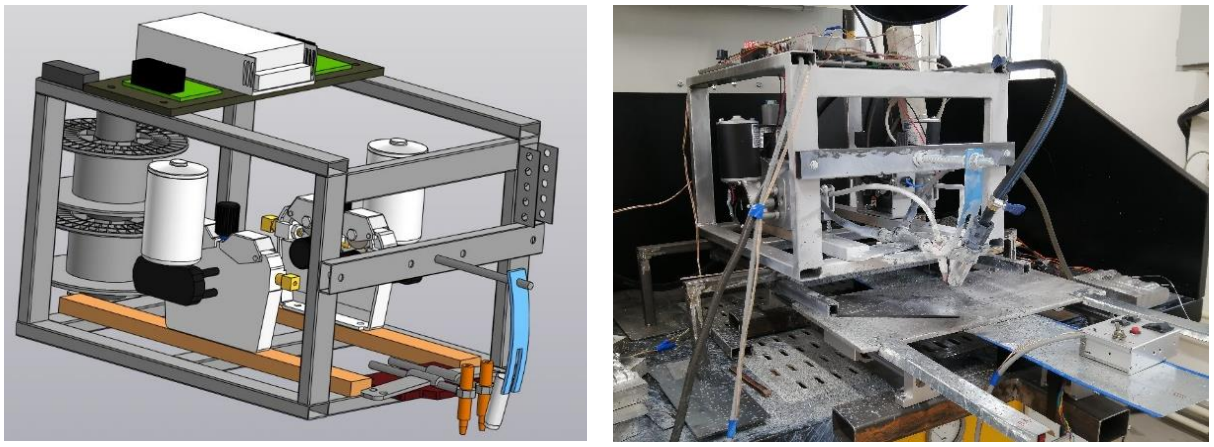
В традиционных процессах дуговой наплавки плавящимся электродом и аддитивных технологиях по принципу проволочно-дугового выращивания (WAAM) повышение производительности достигается за счет увеличения скорости подачи и плавления электродного металла. В условиях горения дуги прямого действия одновременно с этим происходит и увеличение сварочного тока, что в свою очередь вызывает излишний нагрев и чрезмерное проплавление основного металла [1, 2]. В результате тепловая энергия дуги начинает расходоваться нецелесообразно, а общая эффективность процесса снижается. Технология наплавки дугой косвенного действия позволяет устранить этот недостаток [3, 4], однако является более сложной с точки зрения используемого оборудования и обеспечения стабильности процесса. Вопросы применения косвенной дуги, особенно при наплавке цветных металлов мало освещены в литературе.

Цель работы – исследование особенностей процесса горения и переноса электродного металла при использовании дуги косвенного действия между плавящимися электродами из алюминиевого сплава.

Для проведения исследований была разработана и изготовлена специальная установка, показанная на рис. 1.

Конструкция установки позволяет обеспечить подачу двух проволок в общую зону плавления. Два подающих механизма и раздельные системы управления двигателями позволяют изменять скорость подачи каждой из проволок независимо друг от друга. Для питания косвенной дуги использовался инверторный источник питания для механизированной сварки Янтарь МИГ 450. В качестве электродов использовали проволоку сплошного сечения марки АМг5 диаметром 1,2 мм. В качестве защитного газа использовали аргон. В ходе экспериментов фиксировали осциллограммы токов и напряжений с параллельной видеосъемкой процесса горения.

© Безруких А. А., Походяев М. А., 2024



а *б*

Рис. 1. Установка для проведения исследований:
а – трехмерная модель; *б* – изготовленный образец

Для определения особенностей переноса электродного металла при различных режимах горения косвенной дуги проводили эксперименты по изменению скоростей подачи проволок *V*п в процессе их плавления. В ходе экспериментов определяли ток дуги *I*д и напряжение дуги *U*д.

На рис. 2 показаны видеокадры горения дуги в диапазоне скоростей подачи проволок *V*п = 9–15 м/мин. Данный диапазон характеризуется следующими режимами горения косвенной дуги: *I*д = 90–140 А, *U*д = 18–22 В. Установлен крупнокапельный перенос электродного металла, диаметр капель составляет 3–5 мм. При рассмотрении видеокадров горения дуги выявлено отклонение капель электродного металла от центральной оси плазменного факела. Процесс сопровождается редкими короткими замыканиями, которые, исходя из анализа видеозаписей, не имеют цикличности по времени и носят случайный характер. Очевидно, что эти обстоятельства не способствуют благоприятному переносу электродного металла на изделие, поэтому формирование удовлетворительного валика на данных режимах пока не представляется возможным.

Дальнейшее увеличение скорости подачи проволок (*V*п > 16 м/мин) приводит к увеличению *I*д свыше 150–160 А и изменению характера переноса электродного металла. На рис. 3 показаны видеокадры горения дуги в диапазоне *V*п = 17–20 м/мин.

Установлено, что перенос электродного металла с катода и анода имеет различный характер. Струйный перенос с анода в данном диапазоне режимов не обнаруживается. Анализ осциллограмм и видеокадров горения показал, что переход от мелкокапельного к струйному переносу с катода возможен при увеличении *I*д свыше 210–220 А. Типичные осциллограммы процесса показаны на рис. 4.



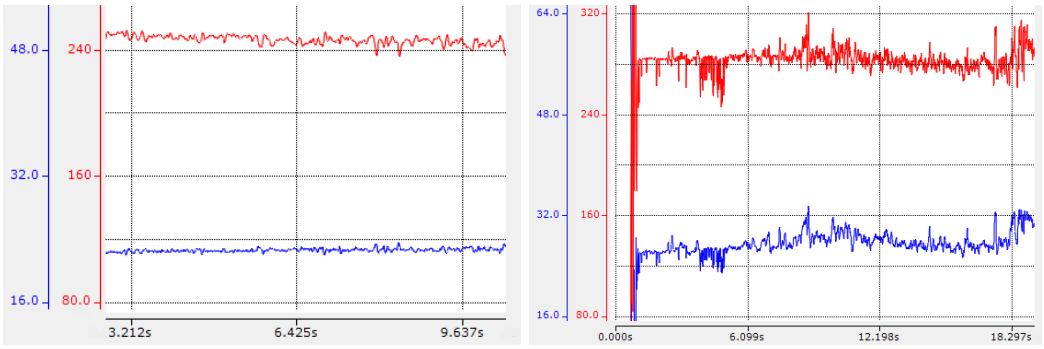
а *б* *в* *г*

Рис. 2. Видеокадры горения косвенной дуги при различных скоростях подачи проволоки: *а* – *V*п = 9 м/мин.; *б* – *V*п = 11 м/мин.; *в* – *V*п = 14 м/мин.; *г* – *V*п = 15 м/мин.



а *б* *в* *г*

Рис. 3. Видеокадры горения косвенной дуги при различных скоростях одачи проволоки: *а* – *V*п = 17 м/мин.; *б* – *V*п = 18 м/мин.; *в* – *V*п = 19 м/мин.; *г* – *V*п = 20 м/мин.



а *б*

Рис. 4. Осциллограммы токов и напряжений горения косвенной дуги: *а* – *V*п = 18 м/мин., *б* – *V*п = 20 м/мин.

Анализ полученных видеокадров и осциллограмм горения косвенной дуги показал, что в диапазоне *V*п = 18–19 м/мин существует область наиболее благоприятного переноса электродного металла (рис. 3, *б, в*), при котором наблюдается струйный перенос с катода при отсутствие колебаний тока и напряжения косвенной дуги (рис. 4, *а*) Также установлено, что увеличение *V*п свыше 19 м/мин приводит к снижению стабильности процесса горения и увеличению разбрызгивания электродного металла (рис. 3, *г*), что также отражается на осциллограммах процесса (рис. 4, *б*) в виде значительных колебаний тока и напряжения дуги.

Выводы

1. Установлены режимы устойчивого горения косвенной дуги постоянного тока при использовании двух плавящихся электродов из алюминиевых сплавов.

2. Определены типы переноса электродного металла при различных значениях скорости подачи электродов и режимы, обеспечивающие переход от мелкокапельного к струйному переносу электродного металла.

Список источников

1. Ленивкин В. А., Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. М. : Машиностроение, 1989. 264 с.

2. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М. : Машиностроение, 1974. 240 с.

3. Zhang Y. M., Jiang M., Lu W. Double electrodes improve GMAW heat input control.Welding Journal, 2004. 83(11). P. 39–41.

4. Li K. H., Zhang Y. M. Consumable double-electrode GMAW. Part 1: The process // Welding Journal. 2008. Vol. 87, no. 1. P. 11–17.

УДК 621.822.6

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ШПИНДЕЛЯ

А. В. Брунгардт[1], А. Н. Щепин[2], Е. В. Брюховецкая[3]

[1, 2, 3]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]artibrung@bk.ru

В большинстве приводов общемашиностроительного применения, а также в шпиндельных узлах используются валы относительно небольшой протяженности [1]. Это позволяет представить шпиндель как систему с распределенными параметрами в виде дискретных моделей с сосредоточенными массами, но при этом в такой модели должна учитываться его гибкость как упругого тела.

Существующие упрощенные методики оценки динамических характеристик валов, как правило, основаны на рассмотрении лишь крутильных колебаний в системе, т. е. динамики одномерных систем. Между тем в реальных системах приводов наряду с крутильными колебаниями возникают колебания инерционных масс в поперечном и продольном (по отношению к осям валов) направлениях вследствие деформаций валов и подшипниковых опор [2]. Более полная оценка динамического качества требует рассмотрения его многомерной системы с увеличенным количеством обобщенных координат. Для этого предложена оценка динамических качеств шпинделя.

Пространственную схему системы вала представляют в виде геометрической суммы двух взаимно перпендикулярных плоских систем, в каждой из которых лежит ось вала. Динамическая модель (расчетная схема) вала при поперечных и крутильных колебаниях (рис. 1) получает вид дискретной системы с четырьмя координатами, условно названной плоской системой. В приближенных динамических расчетах вала с элементами *V* (принимающие) и *P* (передающие) при крутильных и поперечных колебаниях распределенную массу вала приводят к сосредоточенным массам, установленным в точках *V* и *P*. Вал представляют в виде безмассового упругого стержня с распределенным моментом инерции, по концам которого установлены диски с приведенными массами и моментами инерции. Упругие опоры вала моделируют в виде пружин, соединяющих центры дисков с основанием (заделкой).

© Брунгардт А. В., Щепин А. Н., Брюховецкая Е. В., 2024

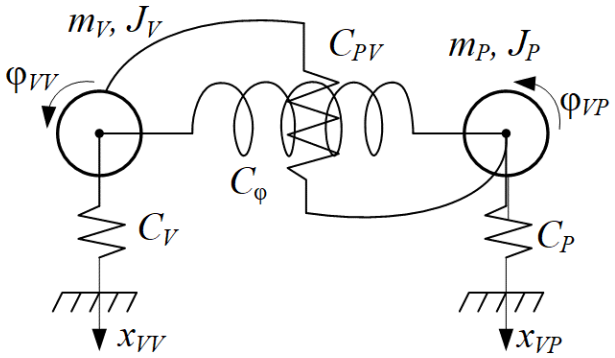


Рис. 1. Динамическая модель модуля вала в двухмерных системах:
m_V, m_P, J_V, J_P – приведенные массы и моменты инерции

Результирующие податливости упругой системы вала, приведенные к точкам V и P, определяются суммированием изгибных и приведенных опорных податливостей [3]: e_{11} – результирующая податливость в точке V; e_{22} – результирующая податливость в точке P; $e_{12} = e_{21}$ – взаимная податливость (податливость в точке V от действия силы в точке P и наоборот). Тогда:

$$C_V = \frac{e_{22} + e_{21}}{e_{11}e_{22} - e_{12}e_{21}};$$

$$C_P = \frac{e_{11} + e_{12}}{e_{11}e_{22} - e_{12}e_{21}}; \quad (1)$$

$$C_{VP} = \frac{-e_{12}}{e_{11}e_{22} - e_{12}e_{21}}.$$

Используя уравнения движения, определяют динамические характеристики с применение метода модального анализа. Для их оценки предлагается использовать следующие показатели динамического качества шпиндельного узла: близость к резонансу, коэффициент динамичности и уровень вибрации опор.

Близость к резонансу в пределах 70–100 % может быть оценена с помощью коэффициента:

$$K_{D_{rk}} = \left(1 - \left|1 - K_{B_{rk}}\right|\right) \cdot 100\ \%. \quad (2)$$

Для каждой частоты f_{B_r} из заданного спектра рабочих частот (например, по частоте n_r вращения вала $f_{B_r} = n_r/60$), который принимаем в качестве спектра возмущающих воздействий, определяем их резонанс-

ные полосы. С точностью до 10 % рекомендуется вычислять резонансную полосу Δf_r по зависимости:

$$0{,}75 f_{B_r} < \Delta f_{B_r} < 1{,}3 f_{B_r}. \quad (3)$$

Далее сравниваются собственные частоты вала f_{0_k} с частотами из резонансной полосы. Для собственных частот, попавших в резонансную полосу, вычисляется коэффициент отношения частот:

$$K_{B_{rk}} = \frac{f_{0_k}}{f_{B_r}}. \quad (4)$$

Динамическое качество вала по этому показателю может быть оценено сравнением коэффициента $K_{D_{rk}}$ с некоторыми нормативными значениями или значениями, выбираемыми из табл. 1.

Таблица 1

Нормативные значения коэффициента близости к резонансу

Значение	Оценка качества
$\mathrm{K_{D_{rk}}} < 0{,}75$	удовлетворительное
$0{,}75 < \mathrm{K_{D_{rk}}} < 0{,}8$	плохое
$\mathrm{K_{D_{rk}}} > 0{,}8$	недопустимое

Коэффициент динамичности $K_{D_{Br}}$ по перемещениям вычисляют с помощью выражений действительного значения амплитуды виброперемещения в диапазоне частот возмущающих воздействий $p_{\min} \ldots p_{\max}$, где $p_{\min} = 0$, с некоторым шагом, например $\Delta p = 10$ 1/с. В этот диапазон частот должны входить конкретные, задаваемые частоты. В качестве таких частот могут быть заданы, например, частота вращения данного вала, зубцовая частота ведущей шестерни, частота вращения сепаратора подшипника и др. Значения амплитуд перемещений при заданных частотах, выбираемые из расчетной таблицы, сравнивают с амплитудой статического смещения (при $p_{min} = 0$). Таким образом:

$$K_{D_{Br}} = \frac{K_{Br}}{K_0}. \quad (5)$$

Вычисленные значения коэффициентов динамичности сравнивают с некоторыми допускаемыми (нормативными) значениями.

Уровень вибрации опор при динамическом расчете вала можно оценить, выделив в общей амплитуде вибрации системы в данной точке долю, приходящуюся на деформацию подшипниковых опор.

При вычислении податливостей в точках V и P по выражению (1) использовались податливости собственно вала и податливости его опор от действия единичных нагрузок в этих точках. Используя очевидные соотношения, можно записать результирующие податливости в точках и податливости в опорах, приведенные к этим точкам. Податливости в точках:

$$\begin{aligned} e_V &= e_{11} + e_{12}; \\ e_P &= e_{22} + e_{21}. \end{aligned} \tag{6}$$

Приведенные податливости в опорах:

$$\begin{aligned} \delta_{OV} &= \delta_{OVV} + \delta_{OVP}; \\ \delta_{OP} &= \delta_{OPP} + \delta_{OPV}. \end{aligned} \tag{7}$$

Выразим коэффициенты относительной податливости опор:

$$\begin{aligned} K_{OV} &= \frac{\delta_{OV}}{e_V} = 1 - \frac{\delta_{VV} + \delta_{VP}}{e_V}; \\ K_{OV} &= \frac{\delta_{OP}}{e_P} = 1 - \frac{\delta_{PP} + \delta_{PV}}{e_P}. \end{aligned} \tag{8}$$

Амплитудные значения перемещений в опорах можно рассчитать по значениям амплитудных перемещений в точках V и P, используя коэффициенты относительной податливости опор:

$$\begin{aligned} A_{O_V} &= A_{S_V} \cdot K_{O_V}; \\ A_{O_P} &= A_{S_P} \cdot K_{O_P}. \end{aligned} \tag{9}$$

Эффективные (среднеквадратические) виброперемещения в опорах или уровень вибрации опор получим по соотношению:

$$(A_0)_{\text{эф}} = 0{,}707 \cdot A_0. \tag{10}$$

Эффективное (среднеквадратическое) значение виброскорости:

$$V_{\text{эф}_A} = (A_0)_{\text{эф}} \cdot \omega_{O_k}. \tag{11}$$

Рассчитанные значения уровня вибрации опор следует сравнить с допустимыми значениями уровня вибраций [5].

Анализ динамики шпиндельного узла с помощью предложенных показателей динамического качества позволяет оценивать его как на этапе проектирования, так и уже существующей конструкции.

Список источников

1. Кудинов В. А. Динамика станков. М. : Машиностроение, 1967.

2. Вейц В. Л., Дондошанский В. К., Чиряев В. И. Вынужденные колебания в металлорежущих станках. М., Л. : Машгиз. 1959.

3. Вейц В. Л., Гидаспов И. А., Царев Г. В. Динамика приводов с замкнутыми кинематическими цепями. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 1991.

4. Хейлен В., Ламменс С., Сас П. Модальный анализ: теория и испытания. М. : Новатест, 2010. 319 с.

5. Ксеневич И. П. Тракторы. Проектирование, конструирование и расчет. М. : Машиностроение. 1991.

УДК 621.745:621.746:621.791

МАЛОЦИКЛОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОДОВ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ ИЗ МЕТАЛЛОМАТИЧНОГО КОМПОЗИТА

С. Л. Бусыгин[1], Н. Н. Довженко[2], А. М. Токмин[3]

[1, 2, 3]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]politex_1999@bk.ru

Введение

Контактную сварку широко применяют для сборки арматурных каркасов изделий из железобетона и армирующих сеток. Эффект нагрева соединяемых деталей в зоне контакта до температуры плавления без присадочных материалов – это основа технологии контактной сварки. Более высокое электросопротивление на границе соединяемых изделий – это необходимое условие для осуществления процесса контактной сварки.

Электроды контактной сварки являются специальным инструментом, осуществляющим процесс формирования сварного соединения [1, 2] и продолжением силового электрического контура машины. Функции электродов в процессе эксплуатации: сжатие и передача давления на детали, подвод электрического тока и отвод тепла из зоны сварки.

Среди электрических проводниковых материалов на основе медных сплавов с высокой прочностью и высокой электропроводностью (high strength and high electrical conductivity – HSHC) [3] выделяется группа хромовых бронз с содержанием 0,4–1 мас.% хрома. Эти бронзы являются дисперсионно-твердеющими сплавами и после термической или термомеханической обработки, включающей закалку и старение, имеют повышенные значения твердости, предела текучести, износостойкости, циклической долговечности и работоспособности при достаточно высоких температурах эксплуатации. Это и обусловило применение хромовых бронз для изготовления электродов контактной сварки, работающих в тяжелых условиях циклических нагрузок и термических циклов нагрев-охлаждение.

Учитывая эти данные, сформулирована следующая цель работы – исследование влияния малоцикловой совмещённой технологии литья-штамповки упрочнённого наночастицами композиционного сплава на основе меди при производстве электродов контактной сварки на их физико-механические свойства.

© Бусыгин С. Л., Довженко Н. Н., Токмин А. М., 2024

Методика проведения экспериментов

Для исследований используем сплав С81300–С82800 [4] типа Cu – 1,0 % Cr – 0,05 % P (мас. %).

Способ выплавки, включает приготовление расплава из отходов медного лома марки М00, М1 ГОСТ Р 54564–2011. В индукционную печь помещали 1 кг лома. Под слоем древесного угля производили плавку, частота печи 44 кГц. В медный расплав вводили 0,05 мас. % раскислителя в виде лигатуры МФ 9 ГОСТ 4515–93 и легирующий элемент в виде таблетированной лигатуры гетерогенного состава, состоящей из базовых элементов: матрицы 0,83 мас. % медного порошка марки ПМС–1 по ГОСТ 4960–2017 и 0,17 мас. % наноразмерных частиц хрома Х99 по ГОСТ 5905–2004. Легирующий элемент получали холодным прессованием, плотность получаемой таблетки 6,30 г/см^3, масса 120 гр.

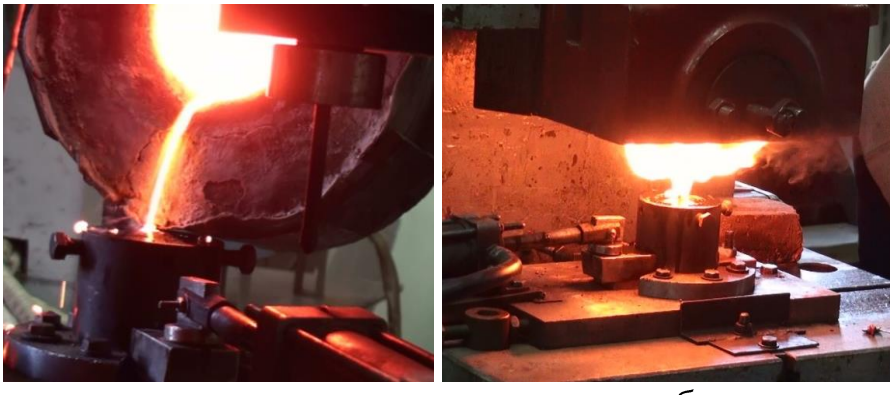
На жидкий металл воздействовали переменным электромагнитным полем с частотной модуляцией тока, изменяя на 35–40 Гц рабочую частоту печи. Такое воздействие позволяет интенсивно перемешивать и равномерно распределять легирующие элементы в расплаве [5].

Технология получения электродов состояла из операций (рис. 1):

– расплавленный металл заливали в технологическую оснастку с матрицей нагретой до 420–450 °С (рис. 1, *а*);

– после кристаллизации штамповали пуансоном с усилием 950–980 кН канал охлаждения с формированием конечной формы электрода (рис. 1, *б*);

– выталкивание готового электрода в отсек охлаждения с проточной водой.



а *б*

Рис. 1. Технологический процесс получения электродов:
а – заливка в матрицу технологической оснастки; *б* – штамповка

Для выполнения операции старения электроды нагревали в муфельной печи СНОЛ–1.62.5.1/11–ИЗ при температуре 450 °С в течение четырех часов.

Электропроводность измеряли на микроомметре Ф4104-М1.

Приборы для измерения твердости ТР 5014 и ПМТ-3.

Результаты экспериментов и их обсуждение

Для выявления варианта оптимальной технологии изготовления электродов из нескольких вариантов [5] были взяты обобщенные значения зависимости твёрдости, удельной электропроводности и микротвёрдости от количества циклов сварки (рис. 2).

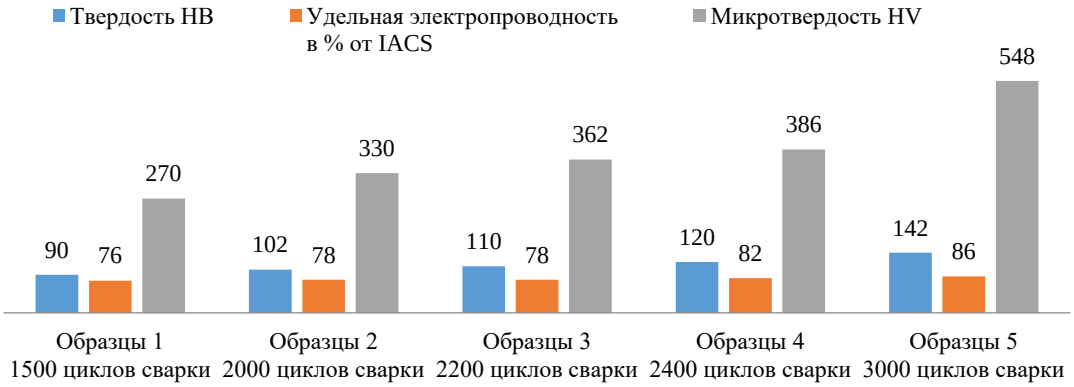


Рис. 2. Значения твёрдости, удельной электропроводности и микротвердости от количества циклов сварки

Анализ коэффициентов корреляции Пирсона для параметров электродов приведен в табл. 1. Как следует из табл. 1, все указанные параметры тесно взаимосвязаны. Рассмотрим характер зависимости параметров твёрдости, микротвердости и удельной электропроводности. Зависимость удельной электропроводности % IACS от твёрдости HB и микротвёрдости HV показана на рис. 3.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции Пирсона для параметров электродов

	N число циклов сварки	Твёрдость HB	% IACS	Микротвёрдость HV
N	1	0,992267	0,955335	0,974995
HB	0,992267	1	0,97827974	0,984015146
% IACS	0,955335	0,97827974	1	0,960058193
HV	0,974995	0,984015146	0,960058193	1

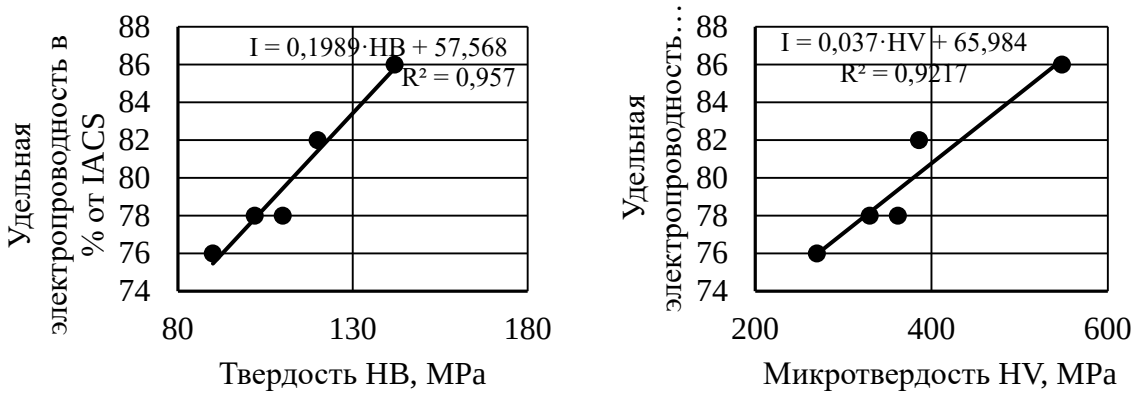
Как следует из рис. 3, для исследуемого сплава характерно линейное (с высоким значением R^2) повышение удельной электропроводности при росте твёрдости и микротвердости независимо от способа изготовления электродов. Взаимосвязь этих параметров с эксплуатационными свойства-

ми работы электродов приведена на рис. 4. Эти взаимосвязи имеют линейный вид.

Повышение электропроводности и твёрдости электродов (рис. 5) ведёт к повышению их эксплуатационной стойкости [6].

Основываясь на линейном характере взаимосвязи и высокой корреляции параметров получили следующее уравнение регрессии для оценки количества сварных соединений

$$N = 1924{,}944 + 37{,}49061 \cdot HB - 49{,}1736 \cdot I,\ R^2 = 0{,}990$$



а *б*

Рис. 3. Зависимость удельной электропроводности % IACS от твёрдости HB (*а*) и микротвёрдости HV (*б*)

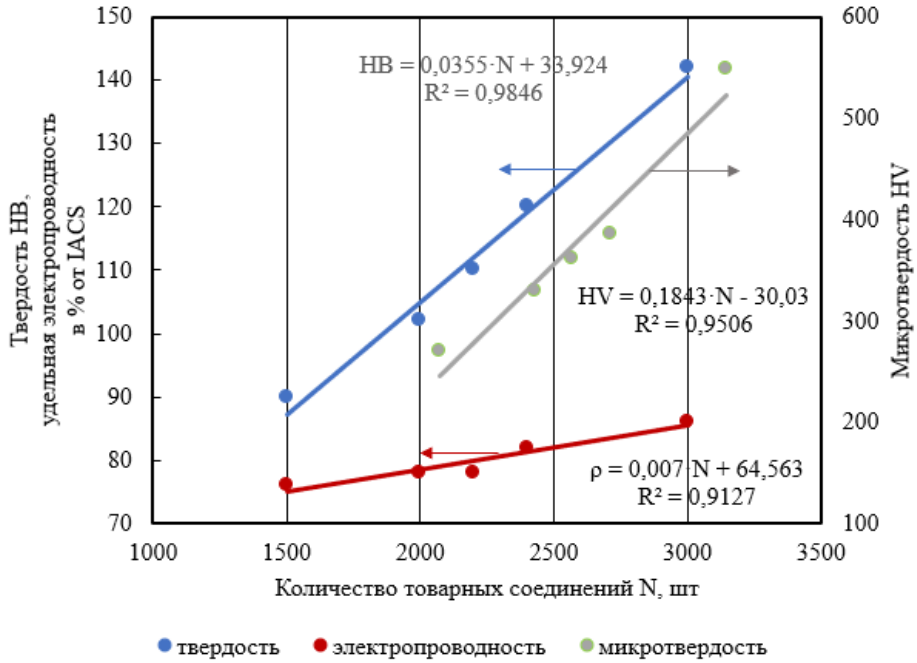


Рис. 4. График взаимосвязи количества сварных соединений от свойств электродов: твёрдости HB, микротвёрдости HV и удельной электропроводности % IACS

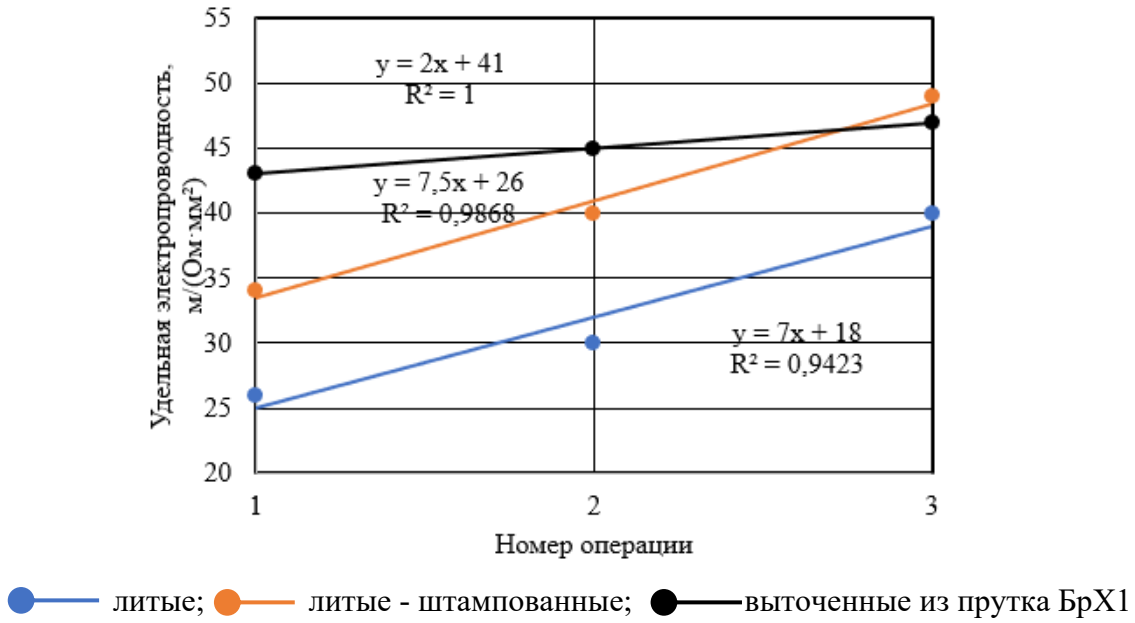


Рис. 5. Зависимость удельной электропроводности от операции обработки для разных технологий: 1 – после исходной операции формования (ИОФ); 2 – ИОФ-закалка; 3 – ИОФ-закалка-старение

Сопоставление свойств электродов, полученных по разным технологиям, позволяет сделать вывод, что электроды, изготовленные по малоцикловой технологии совмещённого процесса литья – штамповки с последующей термообработкой, обладают лучшими показателями, чем электроды, получаемые по другим технологиям.

Список источников

1. David Chapman. Copper in Electrical Contacts. Copper Development Association and European Copper Institute. 2015. 21 p.

2. Ján VIŇÁŠ, Ľuboš KAŠČÁK, Milan ÁBEL. Analysis of Materials for Resistance Spot Welding Electrodes. 2012, 54(5), 393-397.

3. Wang, W.; Zhu, J.; Qin, N.; Zhang, Y.; Li, S.; Xiao, Z.; Lei, Q.; Li, Z. Effects of minor rare earths on the microstructure and properties of Cu-Cr-Zr alloy. J. Alloy. Compd. 2020, 847, 155762. ISSN 0925-8388. DOI:10.1016/j.jallcom.2020.155762.

4. Unified numbering system (UNS) for Copper and Copper Alloys.

5. Busygin S. L., Tokmin A.M., Dementeva, I.S., Kazakov V.S. The Heating Process in an Induction Crucible Furnace and the Technology of Chromium Bronze Smelting in Order to Obtain Resistance Welding Electrodes. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies,* 2018, 11(2), 148–154. DOI: 10.17516/1999-494X-0018.

6. Меньшиков Г. А., Власенко А. Н., Невровский В. А., Васин В. А. Повышение работоспособности электродов при точечной контактной сварке сталей // Журнал сварочное производство. М.: Технология машиностроения. 2008. № 10. С. 32–35.

УДК 621.7.08

АНАЛИЗ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ

О. А. Гаврилова[1], Е. А. Непомнящая[2], В. С. Секацкий[3]

[1, 2, 3]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[2]kate.nepoma@gmail.com

Покрытия применяются в большинстве отраслей экономики: при производстве продукции машиностроения, авиастроения, медицинского оборудования и других сферах. Например, лакокрасочные покрытия применяются для защитных и декоративных целей. Аналогичные цели ставят и для большинства металлических и неметаллических неорганических покрытий. Кроме того, в современных технологиях покрытия используют для повышения износостойкости поверхностей, твердости, прочности деталей и т. п.

Виды покрытий, требования к ним и другие показатели сведены в межгосударственные (национальные) стандарты, которые объединены Единой системой защиты от коррозии и старения. Большое количество стандартов данной группы можно разделить на три укрупненные группы так, как они объединены в нормативных документах (рис. 1).

Качество покрытий характеризуется определенными показателями качества. Для покрытий металлических и неметаллических неорганических требования к покрытиям установлены ГОСТ 9.301–86, а методы их контроля устанавливает ГОСТ 9.302–88. К основным требованиям относятся:

– внешний вид покрытий;
– толщина покрытий;
– пористость покрытий;
– прочность сцепления покрытия с материалом основания. При контроле могут использоваться методы полирования, изгиба, растяжения и др.

Эксплуатационный ресурс изделий, имеющих покрытия, оценивается рядом функциональных параметров, одним из которых является толщина покрытий.

С точки зрения толщинометрии, выбора средства измерения толщины покрытия, метрологического обеспечения при измерении толщины покрытия и т. п. покрытие необходимо рассматривать в совокупности с осно-

© Гаврилова О. А., Непомнящая Е. А., Секацкий В. С., 2024

ванием, на которое оно нанесено. Для решения задач контроля толщины покрытий определены сочетания покрытия и основания [1, 2]:

1) ферромагнитные электропроводящие покрытия на электропроводящих ферромагнитных основаниях;

2) неферромагнитные электропроводящие покрытия на электропроводящих ферромагнитных основаниях;

3) диэлектрические покрытия на электропроводящих ферромагнитных основаниях;

4) ферромагнитные электропроводящие покрытия на электропроводящих неферромагнитных основаниях;

5) неферромагнитные электропроводящие покрытия на электропроводящих неферромагнитных основаниях;

6) диэлектрические покрытия на электропроводящих неферромагнитных основаниях;

7) ферромагнитные электропроводящие покрытия на диэлектрических основаниях;

8) неферромагнитные электропроводящие покрытия на диэлектрических основаниях;

9) диэлектрические покрытия на диэлектрических основаниях.

К ферромагнитным электропроводящим материалам-основаниям можно отнести большинство черных металлов, а к неферромагнитным электропроводящим материалам – большинство цветных металлов. К диэлектрическим материалам относятся пластики, стекло, резина, лакокрасочные материалы и т. п.

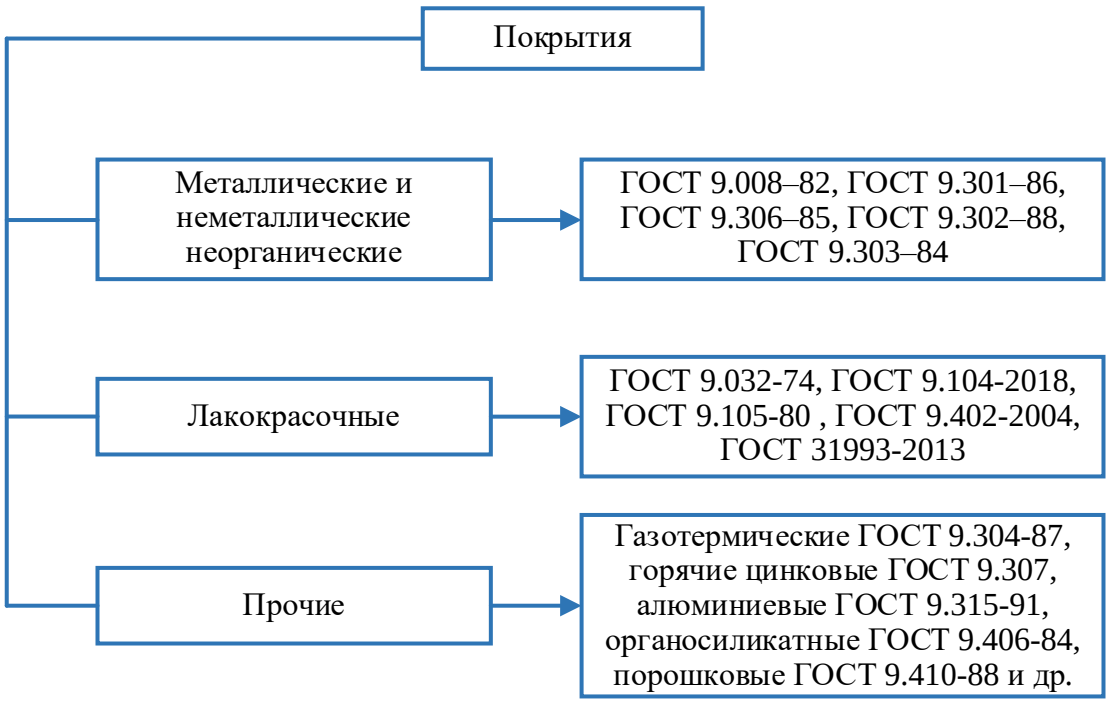


Рис. 1. Группы покрытий по нормативным документам

Для наглядности и удобства дальнейших исследований сочетания покрытий и оснований представим в виде схемы (рис. 2).

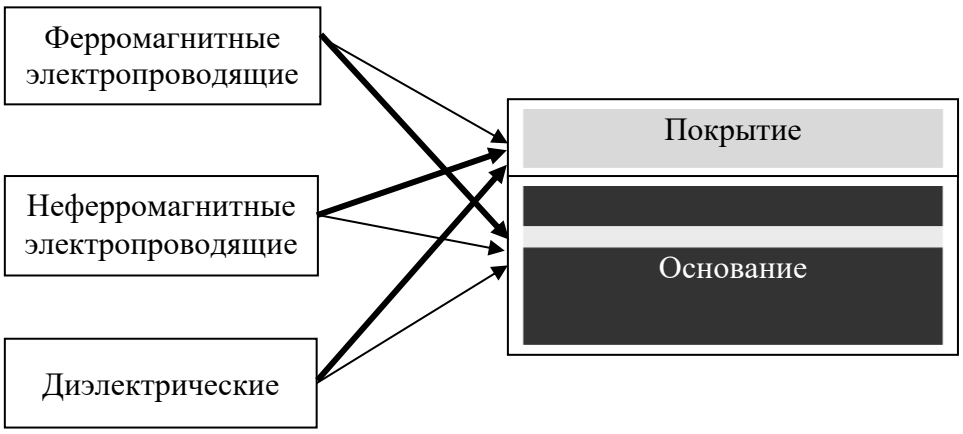


Рис. 2. Сочетание материалов покрытий и оснований

К ферромагнитным электропроводящим материалам основания можно отнести большинство черных металлов, а к неферромагнитным электропроводящим материалам – большинство цветных металлов. К диэлектрическим материалам относятся пластики, стекло, резина, лакокрасочные материалы и т. п.

Приведенные на рис. 2 варианты сочетаний материалов покрытий и оснований позволяют сориентироваться в выборе метода и средства измерения толщины покрытия. Эти положения будут использованы при проведении дальнейших исследований.

Толщина – один из основных показателей качества покрытия [3, 4]. Соответствие толщины покрытия установленным техническим и экономическим требованиям обеспечивает эффективность защитной функции покрытия. Наряду с обеспечением необходимой толщины покрытия целесообразно сведение к минимуму расходов, связанных с нанесением покрытия и сохранением коррозионной защиты, долговечности и других функций покрытия. Например, ущерб, причиняемый коррозией, включает не только прямые потери: стоимость разрушившейся конструкции и замены оборудования, затраты на защиту от коррозии, но и косвенные потери, связанные с простоем оборудования при замене деталей и узлов, пострадавших от коррозии, утечкой продуктов, нарушением технологических процессов [5].

Практически во всех нормативных документах ставится обязательное условие гарантированного обеспечения заданной толщины покрытия. Особенно актуально данное требование в связи с применением в современной продукции покрытий из высокотехнологичных материалов, обладающих высокой стоимостью, поэтому регламентирование технологических допусков и снижение погрешностей измерений – цель для экономии финансовых и материальных ресурсов [6].

В технической документации указывают минимальное значение толщины покрытия, которая должна обеспечить защитную способность и его функциональные и специальные свойства в заданных условиях эксплуатации. Кроме того, минимальная толщина покрытий должна обеспечить заданный срок службы изделий.

Максимальная толщина покрытий, как правило, определяется необходимостью экономии материала или зависит от технологических возможностей [1, 7]. Увеличение толщины покрытий на сопрягаемых поверхностях изделий влечёт за собой уменьшение зазоров, увеличение натягов в сопряжениях.

Из вышеприведённого следует, что нормирование толщины покрытий и определение её действительного значения с заданной точностью при проектировании и изготовлении продукции является актуальной задачей.

На кафедре стандартизации, метрологии и управления качеством СФУ разработана система нормирования допусков на толщину покрытий. Ведутся работы по разработке проекта национального стандарта по данному направлению.

Толщину покрытий в большей части контролируют неразрушающими методами. Для этого используют толщиномеры покрытий, основанные на различных методах контроля. Наиболее часто используют магнитные и токовихревые толщиномеры. Анализ эксплуатационной документации на данные толщиномеры показывает большое разнообразие технических и метрологических требований, приведенных в такой документации, которые не позволяют оценить их эксплуатационные свойства. Это объясняется отсутствием национальных стандартов на технические требования данных типов толщиномеров. Хотя опыт стандартизации в данном направлении для других типов толщиномеров имеется. Например, одним из основных стандартов, регламентирующих технические требования на ультразвуковые толщиномеры покрытий, является ГОСТ Р 55614–2013 «Контроль неразрушающий. Толщиномеры ультразвуковые. Общие технические требования».

Аналогичный стандарт существует на радиоизотопные толщиномеры – ГОСТ 18061–90 «Толщиномеры радиоизотопные. Общие технические условия». Следовательно, одной из первостепенных задач является разработка национального стандарта на технические требования магнитныхи токовихревых толщиномеров.

Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» устанавливает обязательное проведение поверки средств измерений, как одного из элементов обеспечения единства измерений, гарантирующего нахождение средства измерения в нормированном точностном диапазоне метрологических характеристик и его пригодности для последующей эксплуатации. Поверка средств измерений осуществляется до их ввода в эксплуатацию или после их ремонта (первичная поверка), или находящихся в экс-

плуатации (периодическая поверка). Если средства измерений не предназначены для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, то их поверка осуществляется в добровольном порядке.

Виды работ, необходимые при поверке каждого типа средств измерений, определяются методикой поверки, которая представляется при утверждении типа средств измерений и используется при их поверке.

Нормативную документацию на методики поверки можно разделить на три группы:

– нормативные документы на поверку любых средств измерений;

– нормативные документы на поверку толщиномеров покрытий;

– действующие методики поверки толщиномеров, утвержденные при регистрации средств измерений или приведенные в эксплуатационной документации.

Проведенный анализ нормативной документации на методики поверки толщиномеров покрытий показал, что:

– действующий ГОСТ 8.502–84 имеет несоответствия в области определения основной погрешности и ее составляющих, что отражается на достоверности результатов поверки;

– структура определения погрешности в методиках поверки серийно выпускаемых толщиномеров не соответствует структуре ГОСТ 8.502–84, так как не учитывает случайную составляющую основной погрешности. В результате поверки возможно ошибочное признание годным любого в действительности дефектного экземпляра толщиномера при оценке толщиномеров по среднему арифметическому их всех измерений, и наоборот – признание дефектными годных толщиномеров при оценке по наибольшему отклонению из всех измерений.

Предложены изменения и дополнения в методику поверки магнитных толщиномеров, учитывающие в отличие от известных методик поверки случайную составляющую основной погрешности, что способствует повышению достоверности оценки результатов поверки магнитных толщиномеров.

Список источников

1. Бабаджанов Л. С., Бабаджанова М. Л. Метрологическое обеспечение измерений толщины покрытий: теория и практика. М. : ИПК Изд-во стандартов, 2004. 263 с.

2. Сясько В. А., Голубев С. С., Смирнова Н. И. Перспективные методы измерения толщины защитных покрытий. Проблемы методов и метрологического обеспечения // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : сб. ст. 6-й Международной научно-технической конференции, Могилев, 19–20 сентября 2017 г. Могилев : Белорусско-Российский университет, 2017. С. 30–39.

3. Two-point calibration of coating thickness gauges: what needs to be considered to improve measurement accuracy/ V. S. Sekatskii, O. A. Gavrilova, N. V. Merzlikina, Yu. A. Pikalov, Ya. Yu. Pikalov, I. A. Kaposhko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering // Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering, Krasnoyarsk, 04–06 April's. 2019. № 537.

4. Analysis of regulatory documentation for thickness of coatings of materials and products / V. S. Sekatsky, O. A. Gavrilova, N. V. Merzlikina, Y. A. Pikalov, I. A. Kaposhko // Conference Series: Journal of Physics. 2020. Т. 1515 (№ 5). С. 052025.

5. Коррозия [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Коррозия.

6. Сясько В. А. Методы и приборы измерения толщины гальванических покрытий. Вопросы применения и обеспечения достоверности // Гальванотехника и подготовка поверхности. 2011. № 3. С. 42–52.

7. Гелашвили Н. В., Муджири Я. Н., Бабаджанов Л. С. Роль толщинометрии покрытий в экономии материальных ресурсов // Измерительная техника. 1982. № 12. С. 35–37.

УДК 621.763: 621.7.04

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МОДЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРОЙ, ПОЛУЧЕННЫХ АДДИТИВНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

Ю. И. Гордеев[1], А. С. Бинчуров[2], Е. В. Москвичев[3], В. Б. Ясинский[4], С. В. Филиппов[5]

[1, 2, 4, 5] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[3] Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Красноярск, Россия
[1]y.gordeev.tms@mail.ru, [3]jugr@ict.nsc.ru

Введение

Аддитивные технологии, и в частности методы 3D-печати (Fused deposition modeling (FDM), имеют ряд преимущественных отличий от других традиционных методов обработки: порошковой металлургии, тканевых и плетеных препрегов, вспенивания, литья по выплавляемым моделям и др. Появляется возможность получения сложных пространственных структур с беспрецедентной геометрией и высокой производительностью в соответствии с компьютерной моделью. Использование решетчатых структур, имеющих архитектуру с повторением правильных геометрических ячеек в пространстве методами 3D-печати, обеспечивает полимерным, металлическим, керамическим материалам уникальное сочетание свойств, не достижимое традиционными методами: повышенные значения удельной прочности, удельной поверхности, коэффициента теплопередачи, модуля упругости и др. Как результат – расширенные перспективы применения в самых разных областях: для изготовления сложнопрофильных деталей машиностроения [1], аэрокосмической отрасли [2], биомедицине [3], нефтегазовой отрасли и др. В ряде работ приводятся данные о влиянии состава и структуры расположения слоев на физико-механические свойства и предлагаются варианты топологической оптимизации поверхностей типа гироид [4] и сотовых конструкций [5] для получения изделий различного назначения с заданными при проектировании свойствами. В работах [1, 3] приводятся примеры практического использования метода FDM при создании сложноконтурных цельных деталей из пластика. Несмотря на значительное количество исследований и прикладных работ в области адди-

© Гордеев Ю. И., Бинчуров А. С., Москвичев Е. В., Ясинский В. Б., Филиппов С. В., 2024

тивных технологий [1], проблемы топологической оптимизации структур, полученных методами 3D-печати, остаются по-прежнему актуальными. Это объясняется, прежде всего, необходимостью их адаптации к форме, размерам и условиям эксплуатации конкретного изделия, а моделирование деталей сложной пространственной конфигурации требует дальнейшего совершенствования и развития.

Цель работы – моделирование регулярных структур из пластиков и изучение процессов их разрушения в качестве стартового метода при разработке технологии изготовления композиционных материалов с повышенным уровнем прочностных свойств.

Результаты расчетных и экспериментальных исследований регулярных структур из пластиков

Предварительная экспериментальная оценка прочностных свойств проводилась на образцах десяти различных типов структур, изготовленных из пластиков, – акрилонитрил бутадиен стирола (ABS) и полилактида (PLA). Используя FDM-технологию на принтере «Hercules» были изготовлены образцы 40 × 40 × 40 мм с размерами ячейки от 1 мм до 5 мм (крупная сота) для испытания на сжатие. Образцы из пластиков ABS с плотностью $\rho = 1{,}05$ г/см^3 и PLA с плотностью $\rho = 1{,}25$ г/см^3 получены на различных технологических режимах.

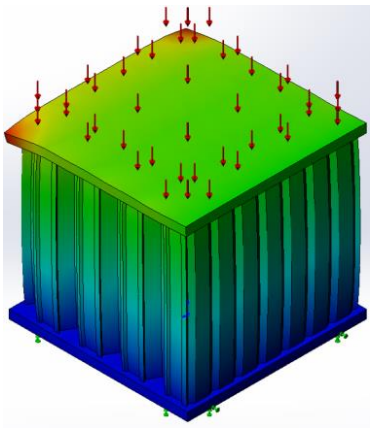
Экспериментальная оценка прочностных свойств производилась на образцах десяти различных типов структур, изготовленных из пластиков ABS и PLA. Испытания на сжатие образцов проводились в соответствии с ISO 604:2002 на универсальной испытательной машине Tinius Olsen 100ST с возможностью измерения деформаций видеоэкстензометром. Удельная прочность рассчитывалась с учетом того, что плотность образцов при заполнения материалом пластика 20 % от общего объема составляет для соты 0,25 г/см^3, а для гироида 0,21 г/см^3.

При создании моделей различных сотовых и гироидных структур и прогнозировании их свойств использовались программные продукты Cura, Prusa, Solidworks Simulation. Изображения моделей, топологии образцов и оценка напряжений, возникающих в объеме, приведены на рис. 1.

Проведенная численная оценка прочности различных типов структур по модели показала, что продольное построение слоев предпочтительнее чем поперечное (35 %), а сотовая структура обеспечивает прочность выше гироидной (75 %). Соответствующие экспериментальные диаграммы деформирования в координатах *нагрузка – перемещение* и *напряжение – деформация* для некоторых образцов различной топологии сотовых и гироидных структур приведены на на рис. 2.

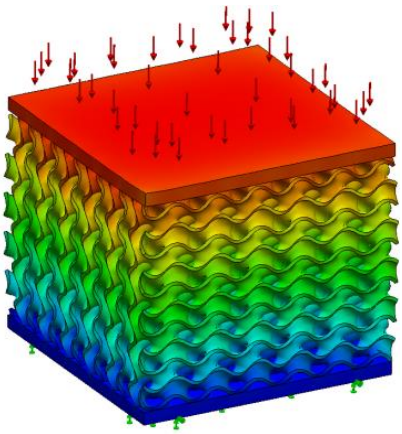
Обращает на себя внимание, что деформационные процессы и характер разрушения большинства образцов, имеющих структуры различной топологии, происходят в соответствии с прогнозами по модели и классиче-

ским представлениям о разрушении материалов, например по направлению плоскостей сдвига (рис. 3). Это свидетельствует о достаточно высоком качестве построения регулярных структур.



Перемещение, e_{max} $1.624*10^{-4}$ мм
Напряжение, $1{,}367 \cdot 10^{4}$ Па

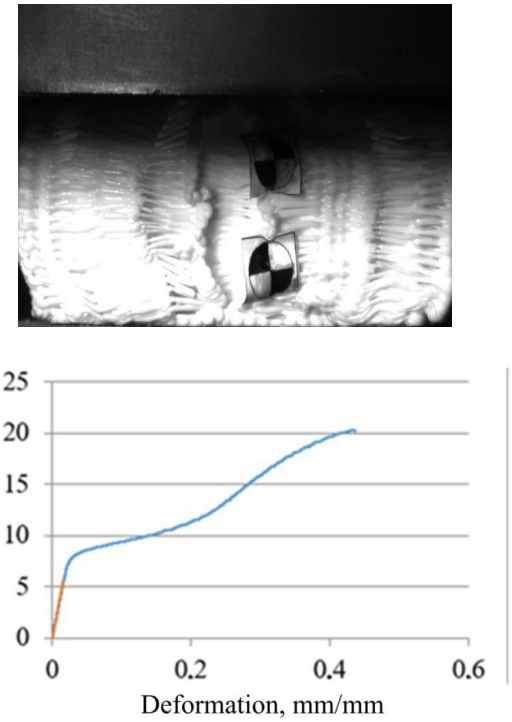
а



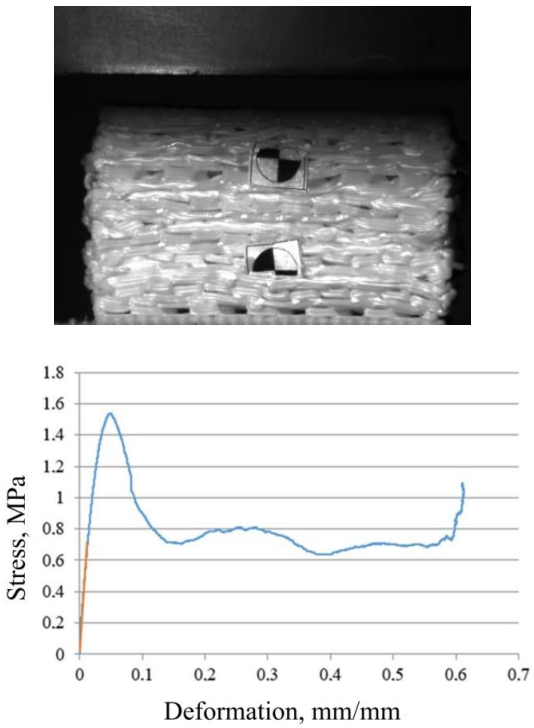
Перемещение, e_{max} $2{,}126 \cdot 10^{-4}$ мм
Напряжение, $2{,}771 \cdot 10^{4}$ Па

б

Рис. 1. Виды структур: *а* – сота продольная вдоль оси построения; *б* – гироид продольный вдоль оси построения



а



б

Рис. 2. Результаты измерений образца № 3 (PLA2 Сота продольная вдоль оси роста) и образца № 8 (ABS4 Гироид продольный вдоль оси роста)

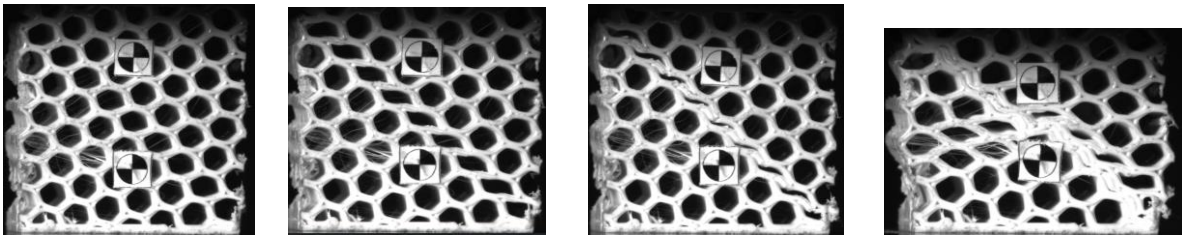


Рис. 3. Этапы разрушения стенок сотовой структуры
в процессе нагружения

Более наглядное представление результатов измерений и различий в поведении образцов различных топологических структур и материалов под нагрузкой приведено на рис. 4.

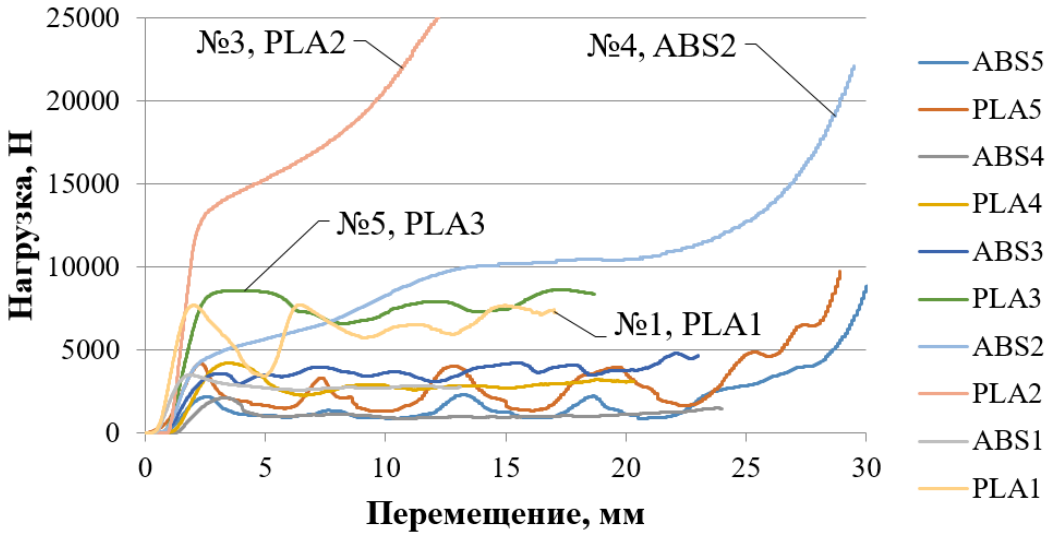


Рис. 4. Характер деформационных процессов при сжатии

Анализ полученных кривых и их немонотонный характер свидетельствует о стадийности процессов разрушения на большинстве образцов. Очевидно, что в соответствии с графиками на рис. 4 наиболее предпочтительным материалом для изготовления каркасных структур является PLA, который обеспечивает на всех типах структур более высокий уровень прочностных свойств (кривые 1, 3, 5, 7, 9) в сравнении с образцами из ABS (кривые 2, 4, 6, 8, 10). Сопоставление образцов различной топологии показывает преимущественные отличия сотовых структур с их расположением параллельно оси нагружения (образцы № 3 и 4, рис. 4). Независимо от материала надежно воспринимаемые нагрузки для образцов из PLA и ABS лежат в диапазоне от 10000 до 25000 Н, что является главным определяющим фактором. Для образцов другой топологии – гироид и сота поперечная (образцы № 1 и 5, рис. 4), изготовленных из PLA, зона работоспособности составляет от 5000 до 10000 Н. Кривые для остальных образцов имеют несущественные различия, максимальная воспринимаемая нагрузка

лежит в области до 5000 Н. Но их отличительной особенностью является ярко выраженная цикличность (дискретность) процессов разрушения, наличие многочисленных пиков, что объясняется слоистой структурой. В работах [3, 6] наблюдали подобные эффекты на структурах типа «гироид» и «примитив Шварца».

Результаты обработки всех экспериментальных данных свидетельствуют, что наиболее предпочтительной структурой является «сота продольная» и материал «PLA» (образец № 3), обеспечивающие наилучшее сочетание упругих и прочностных свойств. результаты экспериментальных исследований показывают удовлетворительное совпадение с прогнозом по модели, что позволяет рекомендовать методику создания моделей из пластика с помощью Cura, Prusa, Solidworks Simulation для дальнейшего применения на практике при изготовлении изделий из металлических порошков и сплавов.

Таким образом, на основании численных оценок и экспериментальных испытаний были определены наиболее предпочтительные типы структур – сотовые структуры на основе PLA со следующими прочностными свойствами: модуль упругости, E = 342,3 МПа, предел прочности при сжатии, σ = 20,4 МПа, удельная прочность, $\sigma_{уд}$ = 81 Мпа см^3/г (при заполнении материалом пластика 20 % от общего объема сотовой структуры и 21 % для гироида). Такой тип топологии сотовой структуры может быть рекомендован для дальнейшей реализации в конструкциях различного функционального назначения, в т. ч. из металлических материалов и сплавов.

Заключение

В процессе комплексных численных и экспериментальных исследований были установлены закономерности деформационных процессов разрушения различных типов регулярных структур, созданных в соответствии с компьютерной моделью с помощью 3D-печати из пластиков. Определены наиболее предпочтительные с точки зрения прочностных свойств материалы и сотовые структуры. Результаты исследований на пластиковых прототипах использованы при разработке составов и технологий изготовления металлических композиционных материалов.

Список источников

1. Chen L. Y., Liang S. X., Liu Y., & Zhang L. C. Additive manufacturing of metallic lattice structures: Unconstrained design, accurate fabrication, fascinated performances, and challenges. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 2021, vol. 146, 100648.

2. Najmon J. C., Raeisi S., & Tovar A. Review of additive manufacturing technologies and applications in the aerospace industry. *Additive manufacturing for the aerospace industry*, 2019, pp. 7–31.

3. Дьяченко С. В., Лебедев Л. А., Сычев М. М., Нефедова Л. А. Физико-механические свойства модельного материала с топологией трижды периодических поверхностей минимальной энергии типа гироид в форме куба // Журнал технической физики. 2018. Т. 88, № 7. С. 1014–1017.

4. Tino R., Leary M., Yeo A., Brandt M., & Kron, T. (2019). Gyroid structures for 3D-printed heterogeneous radiotherapy phantoms. *Physics in Medicine & Biology*, 2019, vol.*64, no* 21, pp. 1-9.

5. Марков В. А., Пусев В. И., Селиванов В. В. Вопросы применения высокопористых металлов и сотовых конструкций для защиты от ударно-волновых нагрузок // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2012. № 7–8. С. 54–62.

[6] Балабанов, С. В., Макогон, А. И., Сычев, М. М., Евстратов, А. А. 3D-печать и механические свойства полиамидных изделий с топологией «примитив Шварца» // Журнал технической физики. 2020. Т. 90, № 2. С. 223–227.

УДК 621.791

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СВАРКИ БЛОКОВ ТРУБЧАТЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Д. А. Громов[1], С. В. Мишнев[2], А. И. Демченко[3], И. К. Шустиков[4]

[1, 2, 3, 4]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[3] ademchenko@sfu-kras.ru

При производстве блоков трубчатых электронагревателей (далее – БТЭН), которые применяются в отопительных системах и системах автоподжига, российские компании используют технологию опрессовки ТЭН в корпус блока. Зарубежные компании применяют пайку при латунном корпусе блока и сварку при стальном, что ведет к снижению металлоемкости изделия и другим отличиям. В целом при одном и том же качестве продукции стоимость зарубежных БТЭН является неоправданно завышенной.

На сегодняшний день на российском рынке БТЭН, потребителями которых являются как промышленные предприятия, так и предприятия, производящие продукцию товаров народного потребления, успешно осуществляют свою деятельность как российские компании (ПК «Марион», «Новотэн», «Сибирский холод»), так и зарубежные производители (Harvia, Backer, Kawaii). При этом продукция российских компаний составляет около 10 % от заполненности рынка, в то же время зарубежные производители заполнили своей продукцией до 70 %. На данный момент существует потребность в восполнении недостающих 20 % рынка ТЭН.

При этом перед отечественными производителями стоят задачи выбора наименее металлоемкой конструкции, которая позволила бы наиболее эффективно сократить расходы на производство БТЭН не только без потери качества, но и со значительным уменьшением процента брака, разработки технологии изготовления БТЭН с применением сварки и учетом особенностей данной технологии.

Решение поставленных задач в данный момент реализуется на заводе «Красноярскэнергокомплект». По состоянию производства на 2023 г. предприятие ООО «Красноярскэнергокомплект» производит более 148 000 тыс. ТЭН в месяц, что составляет менее 1 % от общего количества заполненности рынка ТЭН российскими компаниями.

Достигнутый объём производства БТЭН осуществляется за счет технологии опрессовки ТЭН в корпусе блока. Технологически сборка БТЭН

© Громов Д. А., Мишнев С. В., Демченко А. И., Шустиков И. К., 2024

производится на прессовом оборудовании с использованием специальной технологической оснастки.

На рис. 1 представлена конструкция БТЭН, изготовленного с применением технологии опрессовки.

Использование прессового оборудования при сборке БТЭН требует необоснованной эксплуатационной жесткости конструкции корпуса блока, что приводит к появлению следующих конструктивно-технологических особенностей:

1) завышенная металлоемкость;

2) завышенная удельная трудоемкость;

3) высокий процент брака (15 % от объёма выпуска).

По результатам работы на предприятии ООО «Красноярскэнергокомплект» осуществляется внедрение технологии изготовления БТЭН с применением в процессе сборки корпуса автоматической сварки, что в свою очередь обеспечивает снижение брака на 90 %. При этом производительность производства БТЭН планомерно увеличивается на 20 %. На рис. 2 представлена конструкция БТЭН при использовании автоматической сварки в процессе сборки.

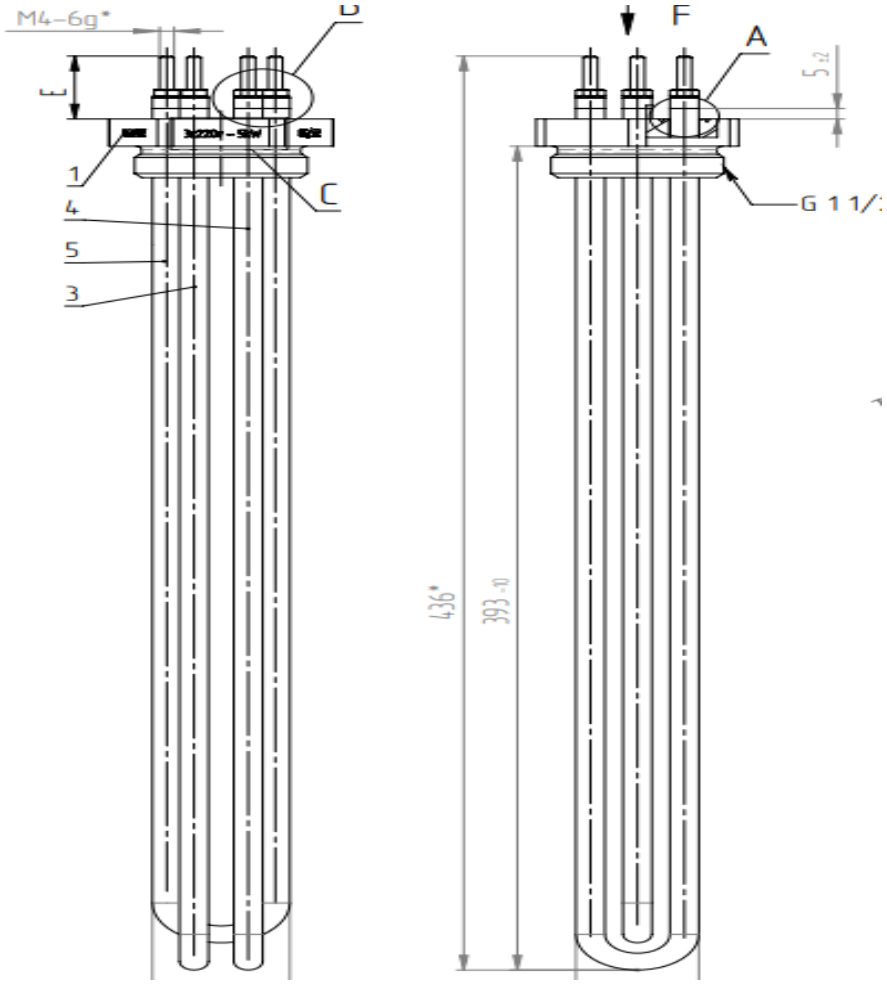


Рис. 1. БТЭН, изготовленный по технологии опрессовки

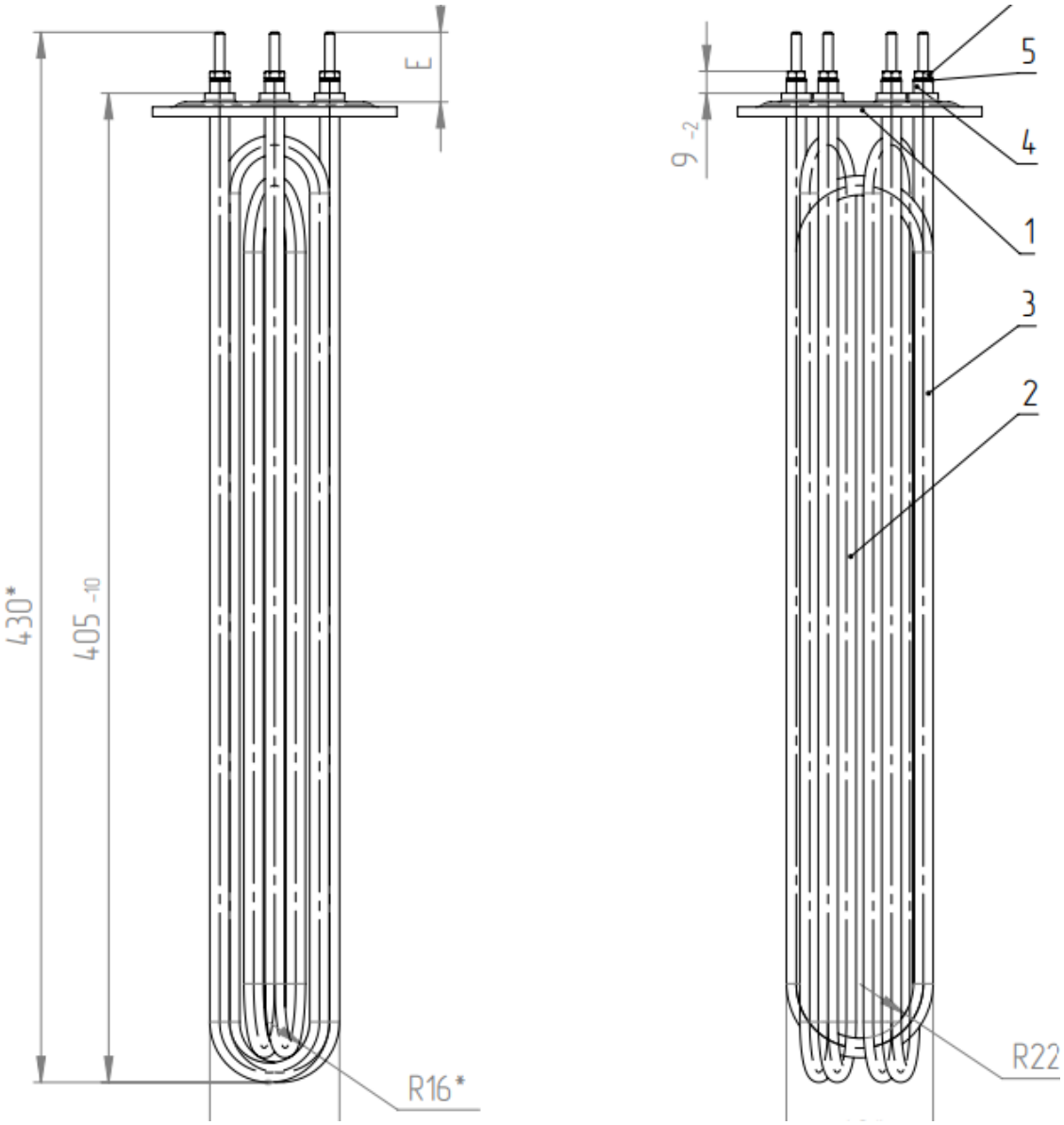


Рис. 2. БТЭН, изготовленный с использованием технологии автоматической сварки

Для использования технологии автоматической сварки при сборке была разработана новая конструкция корпуса блока в виде фланца, что, согласно расчетам, привело к значительному снижению его металлоемкости и стоимости. На рис. 3 показана конструкция фланца нового типа, применяемого для изготовления БТЭН с использованием технологии автоматической сварки.

В работе было исследовано влияние материала фланца на эксплуатационные свойства БТЭН и произведен выбор материала для достижения наиболее высоких технико-экономических показателей. Были исследованы и подобраны оптимальные режимы автоматической сварки при сборке, что в целом привело к повышению технологичности и снижению удельной трудоемкости.

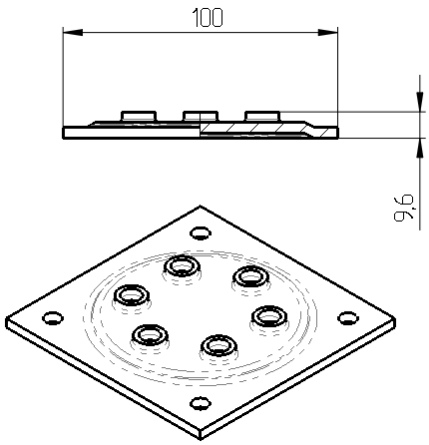


Рис. 3. Фланец для изготовления БТЭН
с применением технологии автоматической сварки

При применении базовой технологии с использованием опрессовки БТЭН удельная трудоемкость составляла 0,14 ч/ч. С предлагаемой технологией удельная трудоемкость уменьшилась на 60 % и составила 0,056 ч/ч. Освободившиеся производственные мощности позволяют в перспективе дополнительно увеличить объём выпуска БТЭН и снизить дефицит рынка на 89 000 БТЭН в месяц.

Список источников

1. ГОСТ 13268–88 Государственный стандарт Союза ССР «Электронагреватели Трубчатые Tubularelectricheaters ОКП 34 4350».

2. ГОСТ 19108–81 (СТ СЭВ 6702–89). Электронагреватели трубчатые (ТЭН) для бытовых нагревательных электроприборов.

3. ГОСТ 9941–81. Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно стойкой стали.

4. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1951. 297 с.

УДК 004.942

ИНТЕГРИРОВАНИЕ СКВОЗНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И КОНСТРУКЦИЙ

В. В. Докучаев[1], А. В. Докучаев[2]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]dok_vadim@inbox.ru

Введение

Сквозное моделирование технологических процессов с передачей напряженно-деформированного состояния – это методология, которая позволяет интегрировать анализ технологических процессов с оценкой и прогнозированием влияния этих процессов на механические характеристики материалов или конструкций.

Внедрение методологии сквозного моделирования технологических процессов в производственные практики представляет собой ключевой этап в совершенствовании инженерных решений и оптимизации производственных процессов. Эта методология позволяет интегрировать различные этапы производства и анализировать их взаимодействие с целью повышения качества, производительности и эффективности производственных операций. Применение сквозного моделирования технологических процессов в производстве может быть выгодным в следующих аспектах:

1. Оптимизация и снижение времени разработки. Сквозное моделирование позволяет проводить виртуальные испытания и анализ на ранних стадиях проектирования, что способствует выявлению и устранению потенциальных проблем ещё до начала физического производства. Это позволяет сократить время разработки и изготовления изделий.

2. Улучшение качества продукции. Интеграция различных технологических этапов позволяет более точно учитывать их влияние на свойства и характеристики продукции. Это способствует предотвращению дефектов и повышению качества конечной продукции.

3. Эффективное использование ресурсов. Сквозное моделирование позволяет анализировать использование сырья, энергии и других ресурсов на различных этапах производства. Это способствует оптимизации процессов и снижению затрат.

4. Анализ влияния технологических изменений. С использованием сквозного моделирования можно анализировать, как изменения в одном

© Докучаев В. В., Докучаев А. В., 2024

технологическом процессе могут повлиять на другие этапы. Это позволяет прогнозировать и управлять возможными рисками и последствиями изменений.

5. Поддержка принятия решений. Благодаря сквозному моделированию, можно проводить сценарный анализ и сравнивать различные варианты производственных стратегий. Это помогает принимать более обоснованные решения.

6. Снижение рисков и брака. Анализ воздействия технологических факторов на конечный продукт позволяет заранее выявить возможные проблемы и устранить их, что снижает риск брака и негативного воздействия на конечного потребителя.

Все эти факторы делают сквозное моделирование технологических процессов неотъемлемой частью современного производства, обеспечивая более эффективное использование ресурсов, повышение качества продукции и сокращение времени до внедрения на рынок.

Концепция цепочки сквозного моделирования технологических процессов детали

Концепция цепочки сквозного моделирования технологических процессов для детали лопатки турбины предполагает интегрированный подход, который объединяет анализ и оптимизацию различных этапов производства этой детали. Важно учесть, как каждый технологический этап влияет на напряженно-деформированное состояние и конечные механические характеристики детали. При формировании цепочки интегрированных технологических процессов учтены лишь ключевые операции, включая 3D-печать, термическую обработку и механическую обработку. На рис. 1 продемонстрирована схема передачи вычислительных данных в рамках последовательности производственного процесса.

Основная ветка этой вычислительной последовательности предполагает реализацию следующих этапов. Согласно технологическому процессу изготовления заготовки детали применяется метод аддитивных технологий, а именно послойное спекание с применением SLM-технологии. Для оценки напряженного состояния заготовки отслеживаются деформации и остаточные напряжения (рис. 2). После завершения процесса печати изделия происходит его отделение от рабочей поверхности и удаление поддерживающих элементов.

Файлы, содержащие выходные данные, полученные в ходе изготовления детали с использованием технологии 3D-печати в программном обеспечении Ansys Additive, сохраняются в формате *.vtk (бинарный формат). Эти файлы в формате *.vtk не могут быть прочитаны в альтернативном программном обеспечении, которое используется для постобработки результатов. Для передачи результатов компьютерно-экспериментальной (далее – КЭ) модели и напряженно-деформированное состояния (НДС) де-

тали из программы Ansys Additive в программу Ansys Workbench используется скрипт, который осуществляет перевод данных из *.vtk файла в формат *.csv. Файл *.csv может быть визуализирован с помощью большинства программ для постобработки.

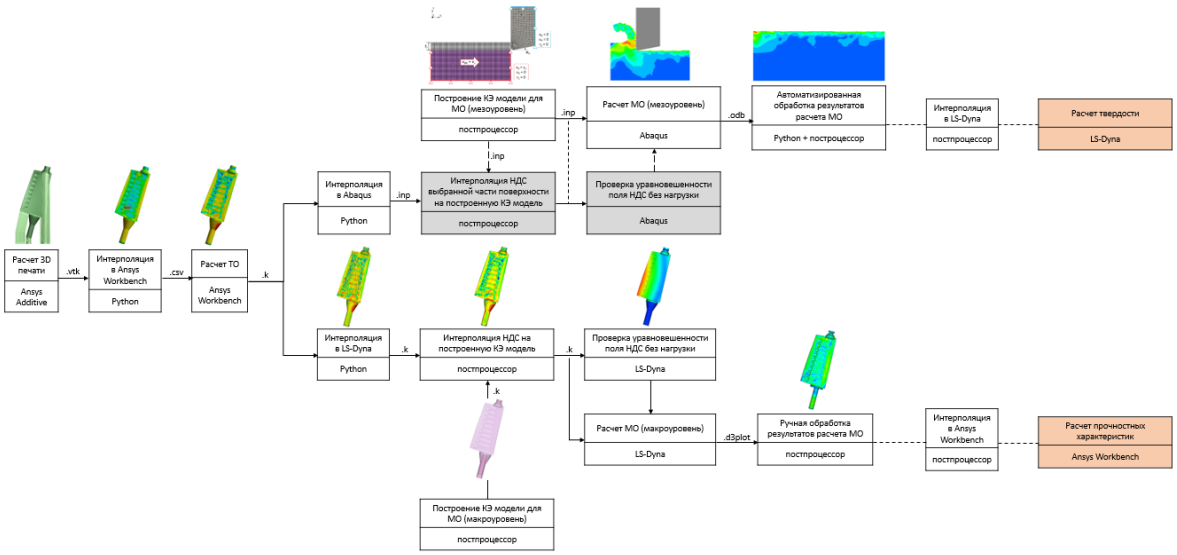


Рис. 1. Схема сквозного моделирования технологического процесса изготовления детали

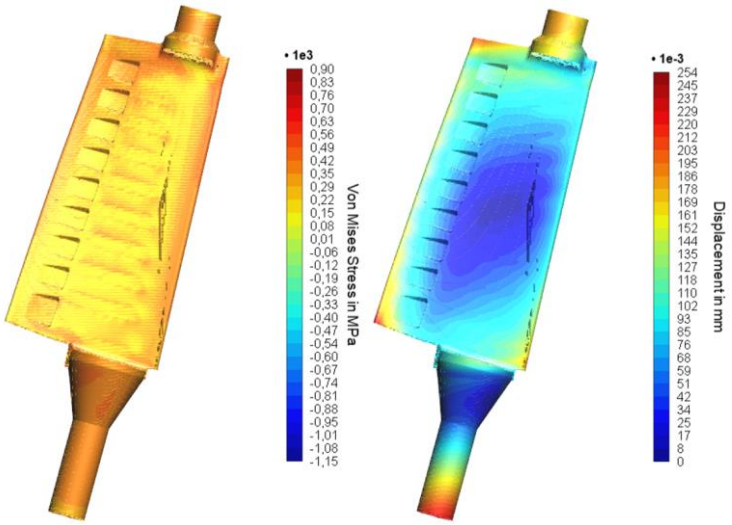


Рис. 2. Распределение остаточных напряжений и перемещений в ходе моделирования 3D-печати детали

На рис. 3 демонстрируются интерполированные КЭ-модель и НДС детали, полученные в результате 3D-печати и представленные в программе Ansys Workbench. Для выполнения моделирования термической обработки необходимо передать информацию о численно-деформационном состоянии из предыдущей технологической операции – 3D-печати. Для этой цели была использована линейная интерполяция данных из файла *.vtk, кото-

рый был переформатирован с помощью соответствующего скрипта, используя встроенные инструменты препроцессора. В результате проведения термообработки заготовки были получены распределения напряжений и пластических деформаций, которые представлены на рис. 4.

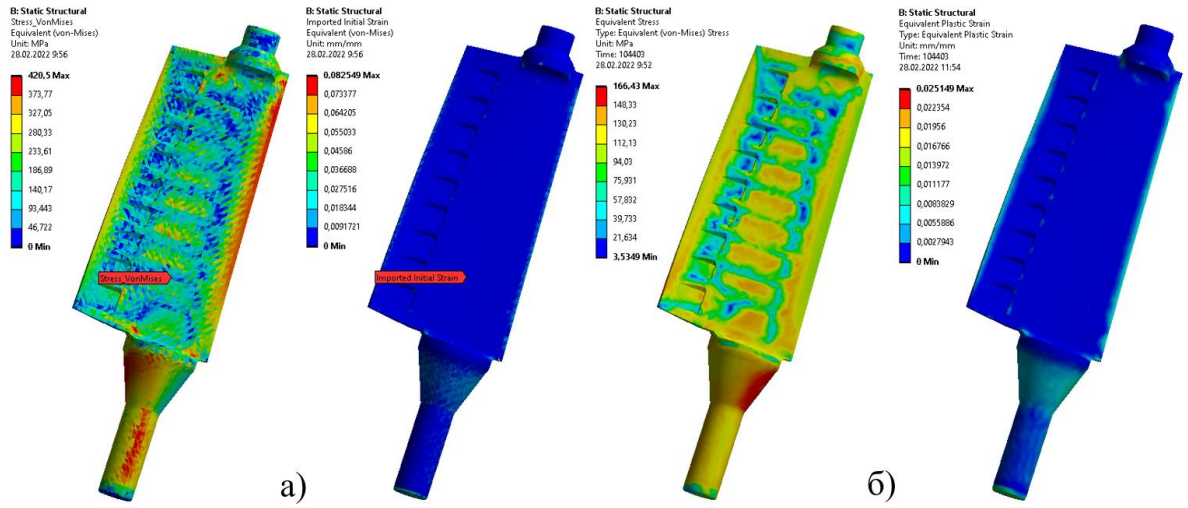


Рис. 3. Интерполированные остаточные напряжения и пластические деформации (*а*); остаточные напряжения и пластические деформации после термической обработки (*б*)

При проведении моделирования механической обработки, конкретно в случае точения, происходит удаление материала небольшой толщины по сравнению с большими радиальными размерами заготовки. Из-за высокой размерности КЭ-модели и значительного времени расчета, прямое 3D-моделирование этой задачи оказывается нецелесообразным. В связи с этим задача механической обработки разделена на два этапа с разными целями. Первая часть задачи механической обработки на макроуровне направлена на оценку эволюции термомеханических напряжений, полученных в результате термической обработки, внутри объема детали в процессе механической обработки.

Основной аспект расчета НДС во время механической обработки заключается в последовательном удалении слоев материала. Так как в детали изначально присутствует преднапряженное состояние, это влияет на свободные поверхности детали и приводит к перераспределению напряжений и изменению ее формы.

Для моделирования механической обработки на макроуровне были выполнены два этапа, которые соответствовали различным операциям технологического процесса. Результаты моделирования механической обработки детали на макроуровне изображены на рис. 4.

Применение сквозного моделирования также способствует оптимизации производственных процессов. Определение оптимальной последова-

тельности операций и параметров обработки становится более точным благодаря учету их взаимодействия с материалами и деталями.

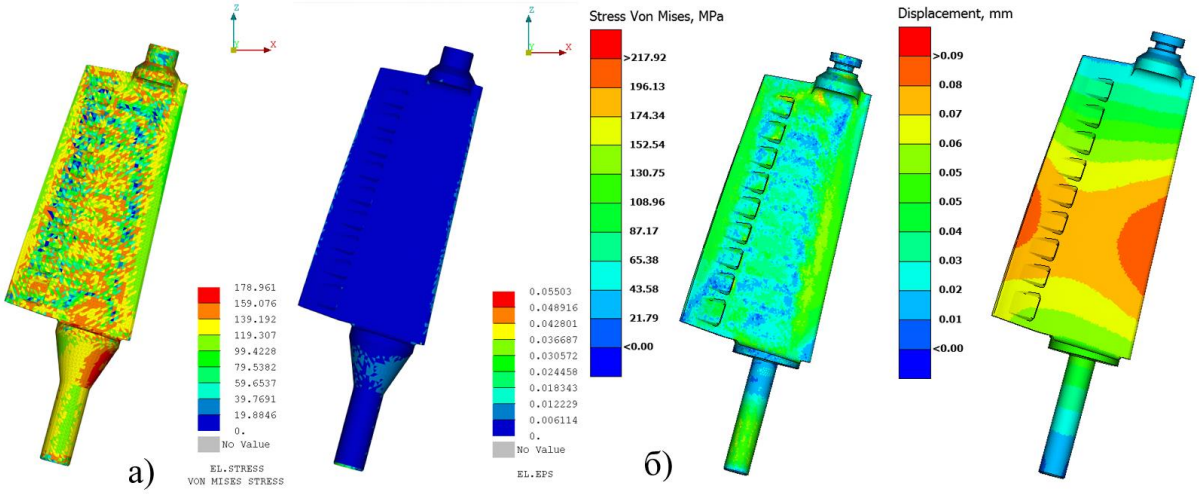


Рис. 4. Интерполированные остаточные напряжения и пластические деформации (*а*); остаточные напряжения и пластические деформации после механической обработки (*б*)

Передача данных в расчет прочности в рассматриваемой расчетной цепочке осуществляется через программный комплекс ANSYS Workbench, обладающий обширной функциональностью для интерпретации конечно-элементных моделей из других программных пакетов. Для импорта данных о напряженном и деформированном состояниях в ANSYS Workbench используется файл с расширением *.csv, в котором содержатся номера конечных элементов, шесть компонент тензора напряжений и значения пластических эквивалентных деформаций. Этот файл загружается в компонент External Data и связывается с этапом Setup в модуле структурного статического анализа (Static Structural).

В модуле задания граничных условий (ГУ), в созданной папке Imported Load, добавляются два элемента: Imported Initial Stress и Imported Initial Strain. Эти элементы позволяют задать импортированные начальные напряжения и деформации. Таким образом, в рамках системы инженерного анализа ANSYS Workbench осуществляется интеграция данных о напряженно-деформированном состоянии, полученных из других источников, с последующим анализом прочности детали.

Заключение

Интегрирование данных о технологических процессах с прочностными расчетами позволяет учитывать изменения свойств материалов, остаточные напряжения, деформации и другие параметры, полученные в ходе производства.

Список источников

1. Пономарев К. С., Феофанов А. Н., Гришина Т. Г. Цифровой двойник производства – средство цифровизации деятельности организации // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2019. № 2 (04). С. 11–17.

2. A balanced load mapping method based on Radial Basis Functions and Fuzzy Sets / M.E. Biancolinia, A. Chiappaa, F. Giorgettia, C. Grotha, U. Cellaa, P. Salvinia // Department of Enterprise Engineering University of Rome “Tor Vergata”. P. 4–8.

3. The influence of Johnson – Cook material constants on finite element simulation of machining of AISI 316L steel / D. Umbrelloa, R. M’Saoubi, J. C. Outeiro // International Journal of Machine Tools & Manufacture 47 (2007). P. 462–470.

УДК 621.892

СНИЖЕНИЕ УСТАЛОСТНОГО ИЗНОСА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЕМ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

С. Г. Докшанин

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
Sergey_dokshanin@mail.ru

При нормальных условиях и режимах эксплуатации подшипников качения их основной причиной выхода из строя являются усталостные разрушения контактирующих поверхностей [1]. Одним из факторов, приводящих к подобному виду износа, является возникновение проскальзывания в зоне контакта. Если определять долговечность подшипников качения на основе стандартных расчетов по условиям прочности, то они не учитывают действие сил трения, возникающих на площадке контакта тел качения с дорожкой кольца. Но оценить влияние контактных напряжений на долговечность подшипника без учета сил трения при проскальзывании невозможно. Длительное действие проскальзывания тел качения значительно сокращает срок службы подшипника качения не только за счет присутствия механического изнашивания поверхностей, но и за счет роста максимальных касательных напряжений. При правильном подборе смазочных материалов представляется возможным уменьшить влияние этого эксплуатационного фактора, которые приводят к возникновению усталостных напряжений. В большинстве случаев усталостное разрушение деталей подшипника начинается на поверхности колец, где в зоне контакта происходит процесс формирования усталостных трещин, который может видоизменяется с условием действия сил трения [2].

В последние годы значительное внимание отводится порошковым нанофазным материалам с особыми свойствами. Широкое применение получили ультрадисперсные материалы с размерами частиц порядка 10–60 нм, такие как порошки алмазо-графита (UDD-G), способные создать в зоне контакта экранирующий слой, снижать величину коэффициента трения, изменять микрогеометрию поверхностей, уменьшать контактные давления [3–5]. Дан-

© Докшанин С. Г., 2024

ные вещества нашли применение в качестве функциональных добавок для смазочных композиций, используемых в различных узлах трения.

Цель проводимых исследований – изучение влияния ультрадисперсного порошка алмазо-графита на противоизносные и антифрикционные свойства пластичных смазочных материалов.

Сравнительная оценка трибологических свойств смазочных материалов проводилась на лабораторных установках, моделирующих работу узла с подшипниками качения. Образцами служили радиально-упорные подшипники типа 7206А с коническими роликами, которые нагружались осевой нагрузкой от 1 кН до 2,5 кН. Внутреннее кольцо подшипника вращалось однонаправленно с частотой 960 об/мин.

Для создания смазочных композиций был выбран литиевый пластичный смазочный материал ЦИАТИМ-201 (соответствует NLGI-2).

Используемый ультрадисперсный порошок алмазо-графита представляет собой углеродосодержащий конденсированный продукт, полученный методом детонационного синтеза в среде углекислого газа (ТУ 40-2067910-01-91). Порошок, применяемый для введения в смазочный материал, представляет собой углеродную смесь с размером частиц от 7 до 60 нм. Доля графита составляла до 80 % продукта взрыва, остальная часть находится в виде высокодисперсной алмазоподобной фазы. Концентрация порошка в смазочных композициях составляла 1 масс. % – наиболее оптимальная для смазочных материалов [5, 6].

Эффективность использования твердой добавки в смазочных материалах оценивалась по величине износа подшипников качения и величине моментов трения. Износ определялся весовым методом через каждые три часа испытаний. Перед испытанием замерялась масса подшипника, затем подшипник набивался испытуемым смазочным материалом. Силы трения на площадке контакта определялись тензометром.

Исследования напряженного состояния контактирующих деталей подшипника выполнялись с помощью компьютерной модели контакта цилиндрического ролика с дорожкой качения при наличии сил трения, разработанной с помощью программного комплекса ELCUT. Рассматривалась модель контакта при качении ролика по упругому основанию с проскальзыванием с учетом действующих на площадке контакта тангенциальных нагрузок, условия деформирования поверхностного слоя удовлетворяют гипотезе об упругих свойствах материала (рис. 1).

Предлагаемая модель контакта базируется на положениях герцевской и упруго-гидродинамической теории контакта, учитывая условия работы роликовых подшипников качения для режима граничного трения [1, 7]. Контактные поверхности задавались между роликом и поверхностью качения внутреннего кольца. В зоне контакта имеется герцевская площадка прямоугольной формы ширины $2a$ и длины l, равной длине ролика, образованная упругими деформациями.

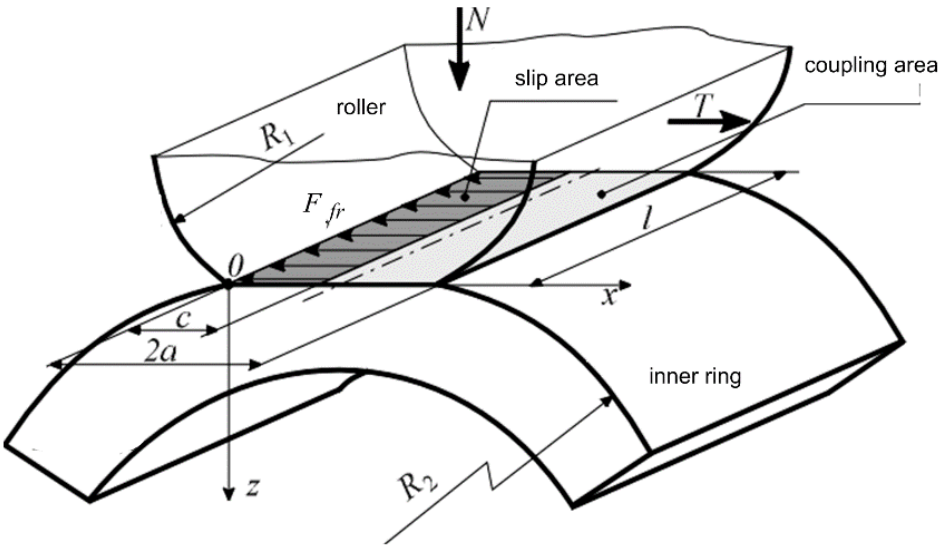


Рис. 1. Расчетная схема модели контакта ролика с кольцом

Площадка контакта состояла из двух участков: сцепления, расположенного на стороне набегания цилиндра и проскальзывание, где имеет место действие сил трения. Координата точки *c*, разделяющей эти два участка, определялась из формулы [7]:

$$c = a \cdot \left(1 - \frac{1}{\pi} arctg \frac{1-2\nu}{\mu(2-2\nu)} \right),$$

где *a* – полуширина площади контакта, определенной по формулам Герца; μ – коэффициент трения скольжения; ν – коэффициент Пуассона.

Размер полуширины площадки при статическом контакте цилиндра с плоскостью рассчитывался по формуле [7]:

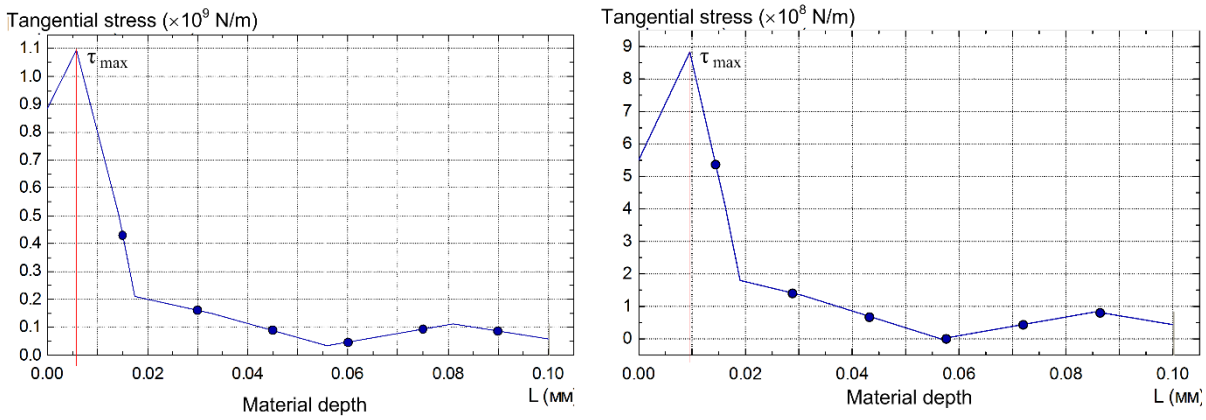
$$a = 0,798\sqrt{2pR(\Theta_1 + \Theta_2)},$$

где *R* – радиус цилиндра; $\Theta_i = \frac{1-\nu_i^2}{E_i}$ – упругий коэффициент; E_i – модуль упругости материала; ν_i – коэффициент Пуассона.

Изображенные на рис. 2 зависимости представляют изменения касательных напряжений τ по глубине *L* на площадке контакта и получены на основе результатов компьютерного моделирования площадки контакта ролика с поверхностью дорожки качения.

Значения сил трения, соответствующие тангенциальным нагрузкам на поверхности, взяты на основе экспериментальных данных. Отмечено, что в случае применения пластичных смазочных материалов с UDD-G наблюдается снижение касательных напряжений до 13 %. Для подшипников качения, где используются пластичные смазочные материалы, наибо-

лее частым является режим граничного трения. По мере увеличения нагрузки и уменьшения относительной скорости скольжения уменьшается толщина смазочной пленки между поверхностями скольжения. В таких условиях распределение контактного давления близко к случаю контакта без смазочного материала. Результаты моделирования контакта ролика с дорожкой качения при различных значениях сил трения, представленные на графиках (рис. 2), показывают, что увеличение сил трения на участке скольжения приводит к перемещению максимальных касательных напряжений к поверхности, в направлении действия силы трения, при этом максимальные срезывающие напряжения будут располагаться на небольшой глубине или непосредственно на поверхности. В условиях качений с проскальзыванием и при свободном скольжении (при $f > 0{,}05$) трещина растет ближе к поверхности или на самой поверхности [7].



а *б*

Рис. 2. Распределение касательных напряжений по глубине внутреннего кольца при коэффициентах трения: а – μ = 0,13; б – μ = 0,09

Заметное улучшение эксплуатационных свойств пластичных смазочных материалов при введении в них UDD-G наблюдается именно для граничных режимов трения. При жидкостных режимах трения нерастворимый и химически инертный порошок UDD-G не влияет на изменение состава смазочного материала. В объемах смазочного материала порошок слабо выражает свои свойства. Но при уменьшении толщины смазочного слоя, когда возможен переход к граничному трению, начинают хорошо проявляться адгезионные способности к металлическим поверхностям благодаря повышенной поверхностной энергии, которой частицы порошка обладают за счет способа получения. Довольно малый размер частиц UDD-G позволяет им проникать в структурный каркас пластичного смазочного материала, что приводит к упрочнению граничной пленки и повышению сопротивляемости к разрушению.

Как показывают результаты моделирования, наличие в зоне контакта смазочного материала с хорошими антифрикционными свойствами снижа-

ет величину касательных напряжений до 18–20 %, максимальные касательные напряжения под площадкой контакта смещаются вглубь, отодвигая начало образования усталостных трещин на контактирующих поверхностях, увеличивая тем самым время работы узла.

Анализ полученных результатов лабораторные исследования позволил сделать вывод, что введение ультрадисперсного порошка алмазографита в пластичные смазочные материалы ЦИАТИМ-201 в качестве наполнителя повышает их противоизносные и антифрикционные свойства. Результаты компьютерного моделирования контакта ролика с дорожкой качения при наличии сил трения подтверждают теоретические положения о влиянии ультрадисперсного порошка алмазо-графита на повышение качества пластичных смазочных материалов.

На основе результатов проведенных исследований можно сделать заключение, что пластичные смазки с добавкой UDD-G способны в 1,5–2 раза увеличить срок службы подшипникового узла.

Список источников

1. Морозов Е. М., Зернин М. В. Контактные задачи механики разрушения. М. : Машиностроение, 1999. 544 с.

2. Сосновский Л. А., Махутов Н. А. Трибофатика: износоусталостные повреждения в проблемах ресурса и безопасности машин. Москва – Гомель : НПО «Трибофатика», 2000. 304 с.

3. Olga A. Shenderova, Dieter M. Gruen. Ultrananocrystalline diamond, synthesis, properties, and applications. William Andrew Publishing Norwich, New York, U.S.A., 2007. 620 p.

4. О влиянии ультрадисперсных наполнителей на реологические свойства пластичных смазок / Жевнов В. В., Смуругов В. А., Деликатная И. О. и др. // Трение и износ. 2001 (22). № 6. С. 699–702.

5. Методология создания смазочных материалов с наномодификаторами / М. Люты, Г. А. Костюкович, А. А. Скаскевич и др. // Трение и износ. 2002 (25). № 4. С. 411–424.

6. Терентьев В. Ф., Еркаев Н. В., Докшанин С. Г. Трибонадежность подшипниковых узлов в присутствии модифицированных смазочных композиций. Новосибирск : Наука, 2003. 142 с.

7. Галин Л. А. Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. М. : Наука, Главная редакция физ.-мат. литературы, 1980. 304 с.

УДК 621.892

ВОЗМОЖНОСТЬ СНИЖЕНИЯ ФРЕТТИНГ-УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ДОБАВОК К СМАЗОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ

С. Г. Докшанин[1], В. А. Мясовский[2]

[1, 2] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]Sergey_dokshanin@mail.ru

Одной из проблем технологического оборудования являются процессы фреттинга, которые часто развиваются в зонах контакта сопряженных деталей при малых колебательных смещениях одной поверхности относительно другой.

Процесс фреттинга является одним из видов контактного взаимодействия твердых тел при наличии нормальной и касательных составляющих сил от внешней нагрузки и сил трения. Вследствие малой амплитуды относительного проскальзывания соприкасающихся поверхностей износ при фреттинге является сильно локализованным на площадках фактического контакта, а продукты разрушения поверхностных слоев не имеют возможности свободно выходить из двумерного пространства между трущимися телами. Поэтому они перетираются и накапливаются в окрестностях площадок фактического контакта, что приводит к усилению их абразивного действия [1, 2]. Фреттинг значительно ухудшает состояние поверхностей контактирующих деталей, что, в свою очередь, повышает интенсивность износа и снижает усталостную прочность деталей. Повреждения поверхностей деталей начинаются с возникновения своего рода каверн, проникающих впоследствии вглубь детали на значительную (порядка 300 мкм) глубину и приводящих в итоге к локальным разрушениям поверхности.

В сочетании таких условий, как проскальзывание при трении и повышение нагрузки, приводящей к росту объемных напряжений, это может привести к развитию наиболее тяжелого последствия − началу процессов фреттинг-усталости. Эти процессы включают в себя взаимосвязанное развитие таких процессов, приводящих к повреждению контактирующих поверхностей, как фреттинг-коррозия и механическая усталость. Их взаимодействие ведет к резкому снижению предела выносливости деталей в 1,5–3 раза. Фреттинг-усталостные повреждения характерны для болтовых,

© Докшанин С. Г., Мясовский В. А., 2024

штифтовых, шпоночных, шлицевых соединений, поверхностей деталей, посаженных с натягом, валов, муфт и других деталей [3, 4].

Механизм зарождения усталостных повреждений прямо связан с силой трения, так как с ее ростом повышается касательное напряжение на контакте. Одним из методов защиты от фреттинг-повреждений являются снижение коэффициента трения и предотвращения проскальзывания контактирующих поверхностей. В этом случае для повышения фреттингостойкости применяемых смазочных материалов могут быть использованы функциональные твердые добавки, например ультрадисперсные порошки алмазографита (УДПАГ). Практическая эффективность применения таких материалов явилась основанием для глубокого изучения механизма и закономерностей их влияния на свойства смазочных материалов [5, 6].

Для техники, работа которой постоянно ужесточается, наступает период, когда используемые смазочные материалы достигают пределов своих эксплуатационных свойств. На сегодняшний день применяемые смазочные материалы являются сложными химическими структурами, назначение которых не только снижение трения, но и обеспечение низкой интенсивности износа, защита от коррозии, улучшение теплопередачи в узлах, создание защитного барьера для поверхностных слоев в режиме граничного трения. Номенклатура современных и более эффективных смазочных материалов расширилась с появлением разработок на основе наноматериалов. Анализ данного вопроса показал, что множество наночастиц использовалось в качестве присадок к смазочным материалам с потенциально интересными трибологическими характеристиками, хотя для большого количества наночастиц, используемых в качестве присадок к смазочным материалам, не до конца изучены многие аспекты их трибологического поведения и влияния на протекающие поверхностные и подповерхностные процессы.

Главный подход при разработке таких смазочных материалов – возможность создания в зоне контакта устойчивого слоя, препятствующего взаимодействию поверхностей деталей узла трения. Подобный защитный слой могут сформировать частицы металлов или металлосодержащих соединений под действием контактных давлений и сдвиговых напряжений. Такие частицы способны изменить микрорельеф контактной зоны, заполняя микронеровности поверхностей трения и уменьшая тем самым величину контактного давления. Однако смазочные материалы, модифицированные нанопорошками, разработаны сравнительно недавно, а физико-химические аспекты их создания и применения требуют дальнейшего изучения [7–9].

Цель исследований, проводимых с различными марками смазочных материалов, выпускаемых промышленно, – оценить эффективность повышения фреттингостойкости после введения добавки УДПАГ в пластичные смазочные материалы. В данной работе отмечены отдельные результаты

комплексного исследования, проводимого для определения трибологических характеристик пластичных смазочных материалов с добавками УДПАГ.

Испытания проводились по схеме «плоскость − торец ролика», которая применяется для моделирования фреттинг-процессов. Удельное контактное давление составляло 120−130 МПа, частота колебаний подвижного образца вокруг своей оси – 8,2 Гц, амплитуда колебаний – 0,4 мм. Подвижный образец изготавливался из стали 45 с последующей термообработкой до *HRC* 42−45, неподвижный (пластина) − из стали 30ХГС и термообработкой *HRC* 38−40. Контактирующие поверхности образцов подготавливались шлифованием до шероховатости R_a = 1,6 мкм. Время одного цикла испытания составляло 6 часов.

Для создания смазочных композиций с ультрадисперсным алмазографитом применялись пластичные смазочные материалы марок ЦИАТИМ-201 (ГОСТ 6267-74) и «Солидол С» (ГОСТ 4366–76). Литиевая пластичная смазка ЦИАТИМ-201 обладает хорошей морозостойкостью и может работать в широком интервале температур, имеет удовлетворительную механическую стабильность. Выбор этих марок для исследований основывался на различии их трибологических свойств. Кальциевая пластичная смазка «Солидол С» при хорошей коллоидной стабильности, водостойкости и защитных свойствах обладает несколько узким диапазоном рабочих температур и низкой механической стабильностью. Эффективность использования добавки в смазочных материалах оценивалась по величине износа неподвижного образца и состоянию контактирующих поверхностей. Добавка представляет собой углеродную смесь с размером частиц до 40 нм, в которой доля графита составляет около 80 %, другая часть находится в виде высокодисперсной алмазоподобной фазы. Концентрация добавки в смазочной композиции составила 1 масс. % как наиболее оптимальная при ее использовании в пластичных смазочных материалах [4].

Исследования показали, что по величине износа базовые смазочные материалы имеют примерно одинаковые противоизносные свойства, чуть лучшие для «Солидола С».

Использование добавки заметно изменяет картину. В этом случае возрастает эффективность смазочных свойств у смазочного материала ЦИАТИМ-201, повышая противофреттинговые свойства в 1,8−2,2 раза, тогда как у «Солидола С» – хуже в 1,2−1,5 раза.

Оценка влияния смазочных материалов на снижение процессов фреттинга выполнялась также по состоянию дорожек трения на неподвижной пластине. Определялась глубина повреждений, изменение величины шероховатости R_a / R_{a0} до и после испытаний, а также общее состояние поверхности.

Исследования обнаружили, что по этим показателям после введения ультрадисперсного алмазографита лучшим является смазочный материал

ЦИАТИМ-201, приводящий к качественному изменению микрорельефа трущейся поверхности. Так, на рис. 1 представлены фотографии состояния дорожек трения, полученные после проведения испытаний со смазочным материалом без добавки и после её введения.

Анализ снимков, полученных после проведения испытаний, позволяет судить о том, что ультрадисперсные порошки алмазографита оказывают значительное влияние на микрорельеф поверхностей трения. Можно отметить заметное сглаживание неровностей, снижение количества раковин, царапин, следов коррозионного износа. Такое изменение шероховатости увеличивает фактическую площадь контакта, что снижает контактные давления и более равномерно распределяет нагрузки по контурным площадям контакта.

Рассмотрение других результатов, полученных в ходе проведения исследований, также позволяет сделать выводы об эффективности введения твердой добавки УДПАГ в пластичную смазку ЦИАТИМ-201. После испытаний средняя величина отношения R_a/R_{a0} для смазочного материала без добавки составила $R_a/R_{a0} = 2,7$, при введении УДПАГ оно снизилось и равнялось $R_a/R_{a0} = 1,61$. Для «Солидола С» это отношение изменилось незначительно: 1,14 и 1,06 (без добавки УДПАГ и с добавкой соответственно).

Результаты проведенных исследований позволили предположить причины проявления хороших триботехнических характеристик смазочных материалов с добавкой ультрадисперсного порошка алмазографита. В отличие от широко применяемых порошковых добавок, для УДПАГ характерна высокая адгезионная способность к металлическим поверхностям за счет повышенной поверхностной энергии. Наличие собственного заряда и взаимодействие с поверхностью металла приводит к образованию ориентированного слоя на контактирующих поверхностях, что способствует прочному удержанию граничного слоя смазочного материала на поверхности трения. Введенные в смазочный материал частицы ультрадисперсного алмазографита локализуют участки на трущихся поверхностях, образовывая на них прочную пленку. Это снижает коэффициент трения, препятствует схватыванию контактирующих поверхностей и повышает способность пленок смазочного материала выдержать значительные нагрузки без разрушения.

Таким образом, результаты эксперимента наглядно демонстрируют положительное влияние ультрадисперсного порошка алмазографита на повышение фреттингостойкости литиевых смазочных материалов (ЦИАТИМ-201) и улучшение их противоизносных свойств. С другой стороны, введение добавки в кальциевые смазочные материалы («Солидол С») приводит к ухудшению некоторых смазочных характеристик. Проведенные ранее трибологические исследования для смазочного материала «Литол-24» также подтверждают положительное влияние УДПАГ на литиевые смазочные материалы [4].

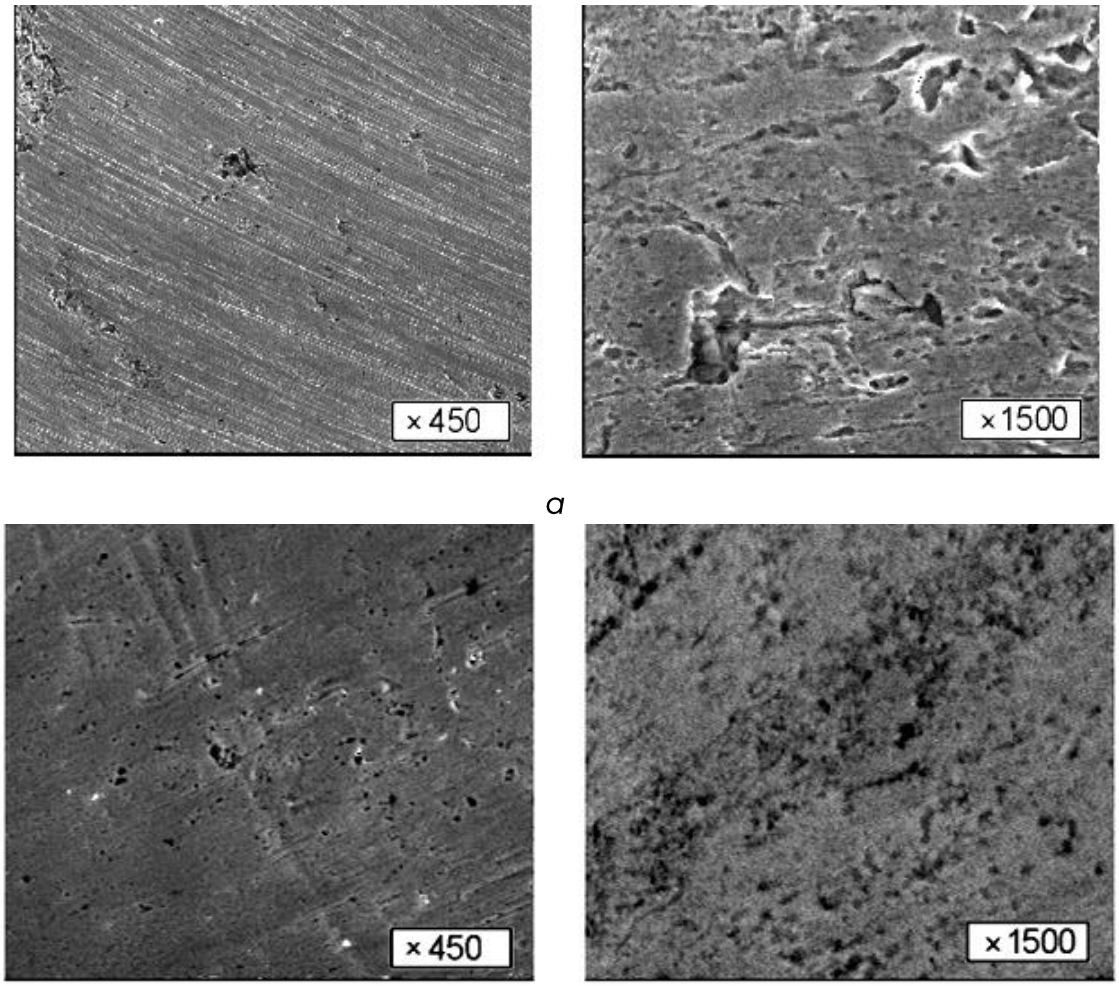


Рис. 1. Внешний вид дорожек трения на пластине после испытаний со смазочным материалом ЦИАТИМ-201: *а* – без добавки УДПАГ; *б* – с добавкой УДПАГ

Вывод

Результаты экспериментальных исследований показывают, что после введения ультрадисперсного порошка алмазо-графита в состав базового смазочного материала уменьшает образование трещин усталости и повышает качество поверхностных контактирующих деталей. Это увеличивает фактическую площадь контакта и снижает контактное давление. Также уменьшает значения тангенциальных и нормальных напряжений до 18–20 %, а действие максимального напряжения сдвига будет двигаться глубже в материал в зоне контакта. Введение ультрадисперсной добавки снижает величину износа в 1,8–2,2 раза и уменьшает глубину повреждений трущейся поверхности на 24–28 %. Сравнительный анализ значений контактных напряжений показал, что при включении в пластичный смазочный материал добавки УДПАГ происходит снижение величины контактных

напряжений на 18–20 %. Это увеличивает время до начала фреттинг-усталостного разрушения поверхности и позволят продлить срок службы узлов трения в 1,5–2 раза по сравнению с базовыми смазочными материалами, уменьшает процесс образования усталостных трещин и улучшает качество поверхности деталей узлов трения.

Список источников

1. Сосновский Л. А., Махутов Н. А. Трибофатика: износоусталостные повреждения в проблемах ресурса и безопасности машин. Москва – Гомель : НПО «Трибофатика», 2000. 304 с.

2. Панова И. М., Язева Е. А. Анализ основных особенностей фреттинга деталей машин // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2016. Т. 4, № 2. С. 48–51.

3. Махутов Н. А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность : в 2 ч. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 2005. Ч. 1. 494 с.

4. Морозов Е. М., Зернин М. В. Контактные задачи механики разрушения. М. : Машиностроение, 1999. 544 с.

5. Терентьев В. Ф., Еркаев Н. В., Докшанин С. Г. Трибонадежность подшипниковых узлов в присутствии модифицированных смазочных композиций. Новосибирск : Наука, 2003. 142 с.

6. Образцов Л. Н. Наноалмазы в смазочных композициях // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. 2010. № 2. С. 83–90.

7. Люты М., Костюкович Г. А., Скаскевич А. А. и др. Методология создания смазочных материалов с наномодификаторами // Трение и износ. 2002. № 4. С. 411–424.

8. Погодаев Л. И. Кузьмин В. Н., Петров В. М. Новый пластичный смазочный материал // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2006. № 6. С. 34−47.

9. Жорник В. И. Влияние наноразмерных добавок на формирование дисперсной фазы пластичных смазок // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2013. № 25. С. 82–89.

УДК 621.791.927.2

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА КАРБИДОСТАЛИ, ПОЛУЧЕННОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКОЙ

С. А. Климов[1], Ф. М. Носков[2], С. Б. Кузембаев[3]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[3]Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан
[1]stepaklimov@yandex.com

Карбидосталь – это композиционный инструментальный материал, использующийся для металлообработки. Твёрдость, теплостойкость и износостойкость выше, чем у быстрорежущей стали, а значит лучше подходит для резания металла. Слой карбидостали получают добавлением порошка твёрдого сплава, состоящего из карбидов в быстрорежущую сталь, с последующим расплавлением этих порошков на поверхности какой-либо детали.

Карбидостали отличаются термостойкостью, сочетанием характеристик твёрдых сплавов (твёрдости, износостойкости) и легированных сталей (прочность, вязкость). По своим параметрам занимают промежуточное положение между быстрорежущими сталями и твёрдыми сплавами. [1].

Карбидосталь имеет широкое применение в различных отраслях промышленности. Прочность, жесткость и износостойкость делают ее необходимым материалом для производства высококачественных инструментов и деталей для различных промышленных процессов.

Перспективы развития карбидосталей связаны с усовершенствованием технологий и методов производства. Новые разработки могут привести к улучшению свойств материала, таких как устойчивость к высоким температурам, упрочнение и повышение его жизненного цикла.

Карбидостали получают обычными методами порошковой металлургии – прессованием смеси порошков исходных материалов в брикеты и последующим спеканием полученных прессовок, пропиткой пористого спеченного карбидного каркаса стальным расплавом [2].

Новизна данной работы заключается в получении карбидостали методом индукционной направки, что позволяет создать покрытие разных составов и толщин. Также с помощью индукционной наплавки возможно

© Климов С. А., Носков Ф. М., Кузембаев С. Б., 2024

восстановление или модифицирование поверхности различных деталей и инструментов.

В данной работе рассматриваются карбидостали из быстрорежущей стали 10Р6М5 (80 весовых %), карбид вольфрама WC (20 весовых %). В структуре присутствует ряд твердых растворов. В отличие от стали 10Р6М5 наблюдаются обширные карбидные включения с измененной морфологией. В виде ледебуритной эвтектики с угловатыми (скелетными) карбидами характерными для высоковольфрамистых сталей Р18, грубых включений белого и серого цвета. Микроструктура образца представлена на рис. 1.

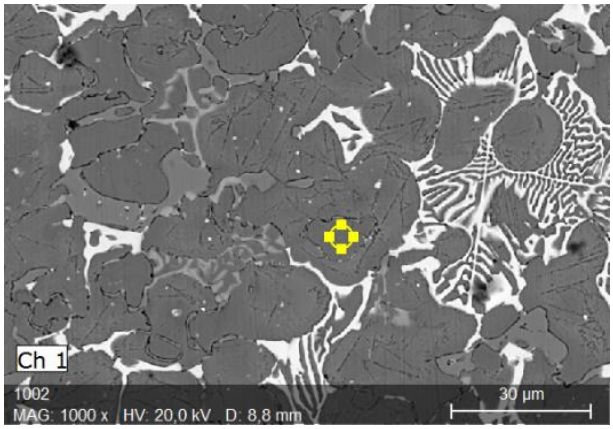


Рис. 1. Микроструктура образца с внесенными карбидами WC

Электронно-микроскопические исследования с применением микродифрактометра помогло сделать следующие выводы.

В табл. 1 представлен фазовый состав образца с процентным содержанием элементов в отдельных фазах.

Таблица 1

Фазовый состав образца 2.2 (2,5 грамм WC)

Фазы	*W*	*Mo*	*Cr*	*V*
1. Твердые растворы, содержащие	5,8	2,8	2,8	0,5
2. Твердые растворы, содержащие	2,9	1,2	3,0	0,5
3. Твердые растворы, содержащие углерода до 5 %	4,2	1,5	1,2	1,0
4. Карбидную эвтектику скелетной морфологии	23,0	5,2	3,0	1,8
5. Отдельные включения карбидов белого цвета	35,4	6,0	2,1	2,3
6. Отдельные включения карбидов серого цвета	7,2	4,1	8,2	1,4
7. Отдельные включения карбидов светлого цвета	15,9	6,9	3,6	15,6

Наблюдаются как минимум три твердых раствора. Все они достаточно малолегированы (макс. значение – 5,8 % W). В одном преобладает вольфрам, в другом хром, в третьем чуть больше ванадия и много углерода

(рис. 2). В растворах, обогащенных вольфрамом и углеродом, наблюдаются мартенситные кристаллы.

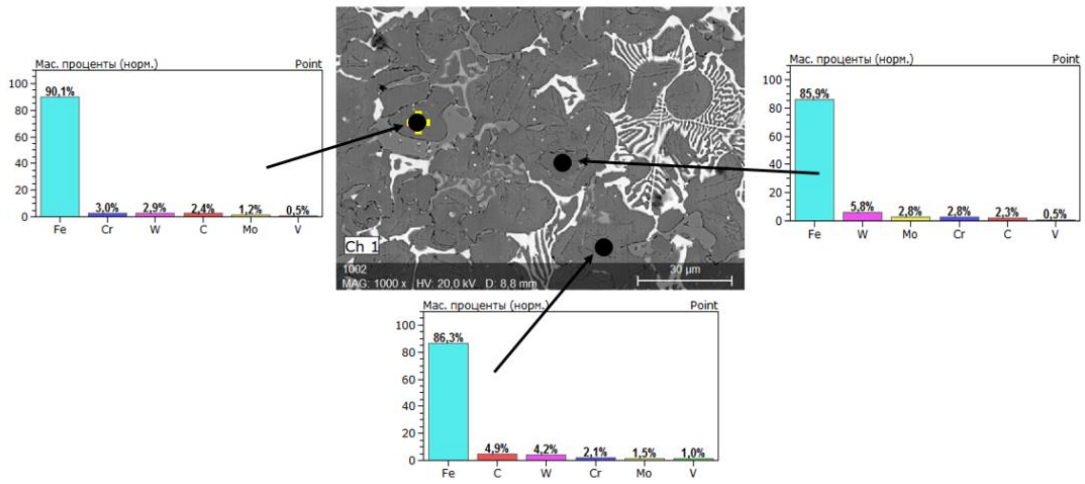


Рис. 2. Микроструктура образца с фазовым составом твердых растворов

В структуре наблюдаются также и включения отдельных угловатых карбидов белого цвета. Они весьма обогащены вольфрамом (до 35,4 %) и очевидно представляют собой нерастворившуюся фазу WC, внесенную в шихту.

Присутствуют обширные включения серых карбидов с повышенным содержанием хрома (до 8,2 %). Вероятно, это карбиды цементитного типа M_3C, либо FeW_3C (рис. 3).

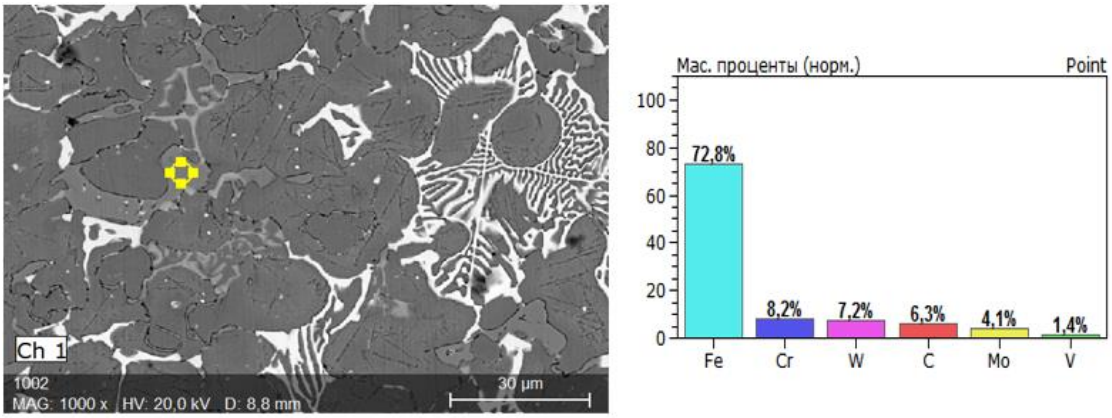


Рис. 3. Микроструктура образца с внесенными карбидами.
Состав карбидов серого цвета

В данной работе показаны:

1. Возможность использования индукционной наплавки для получения карбидостали на основе быстрорежущей стали 10Р6М5 с добавками карбида вольфрама WC.

2. Определены основные фазы, формирующиеся в карбидостали и их химический состав. Они представляют собой ряд твердых растворов различного состава и ряд карбидных фаз, что существенно отличает структуру полученного материала от структуры обычной быстрорежущей стали.

3. Выявлено существенное влияние технологии и состава направляемой шихты на структуру получаемой карбидостали. Отмечается повышенное количество карбидной фазы, что может существенно повысить износостойкость материала.

Список источников

1. Свистун Л. И. Карбидостали конструкционного назначения: изготовление, свойства, применение (Обзор) // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2009. № 3. С. 50.

2. Кульков С. Н., Гнюсов С. Ф. Карбидостали на основе карбидов титана и вольфрама. Томск : Издательство научно-технической литературы, 2006. С. 240.

УДК 532.5.013.13

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ В БУРОВОЙ КОЛОННЕ В УСЛОВИЯХ ПЛАВУЧЕСТИ

И. В. Кудрявцев[1], С. С. Морозов[2], А. Е. Митяев[3]

[1, 2, 3]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]ikudryavtsev@sfu-kras.ru

Введение

Важнейшим условием работоспособности буровой колонны в скважине является ее устойчивость под действием внешних нагрузок. При действии даже небольших сжимающих усилий протяженная буровая колонна (до 3 км и более) может потерять устойчивость с последующим ее застреванием в скважине и даже разрушением. Условие устойчивости выполняется, когда значения внутренних сжимающих продольных сил по длине буровой колонны не превышает некоторого известного критического значения. Особенностью расчета внутренних продольных сил в буровой колонне является наличие непрерывной циркуляции бурового раствора в скважине, который полностью охватывает буровую колонну, поэтому она будет находиться в состоянии плавучести. Учет плавучести в настоящее время может осуществляться двумя разными способами, что приводит к появлению двух значений продольных сил в буровой колонне и некоторой путанице при работе с ними [1]. В данной работе рассмотрим различие двух подходов к плавучести, получаемые результаты и особенности их использования при расчете буровых колонн.

Плавучесть

Плавучесть описывается известным законом Архимеда, который гласит: на погруженное в среду жидкости тело всегда действует сила, равная [2]:

$$F_A = \rho SL = \rho V, \text{ кг}, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости; L – высота тела; S – площадь тела; V – объём тела.

При расчете продольной силы в буровой колонне необходимо корректно учесть способ приложения выталкивающей силы (1) в расчетной

© Кудрявцев И. В., Морозов С. С., Митяев А. Е., 2024

схеме и здесь возникают разногласия, которые привели к появлению двух разных направлений, называемых школами.

1. Школа принципа метода сил (the piston force method, the force-area method) считает, что выталкивающая сила действует на нижнюю часть погруженного тела и направлена вверх. Так обычно и объясняют плавучесть в физике [3].

2. Школа принципа Архимеда (the Law of Archimedes, Archimedes' Principle) предполагает, что выталкивающая сила не сосредоточена снизу, а распределена и действует на каждый элементарный слой или объем погруженного тела [4].

Оба метода существуют, поскольку ни один из них не может полностью описать все наблюдаемые проявления плавучести и это приводит к разным результатам вычисления.

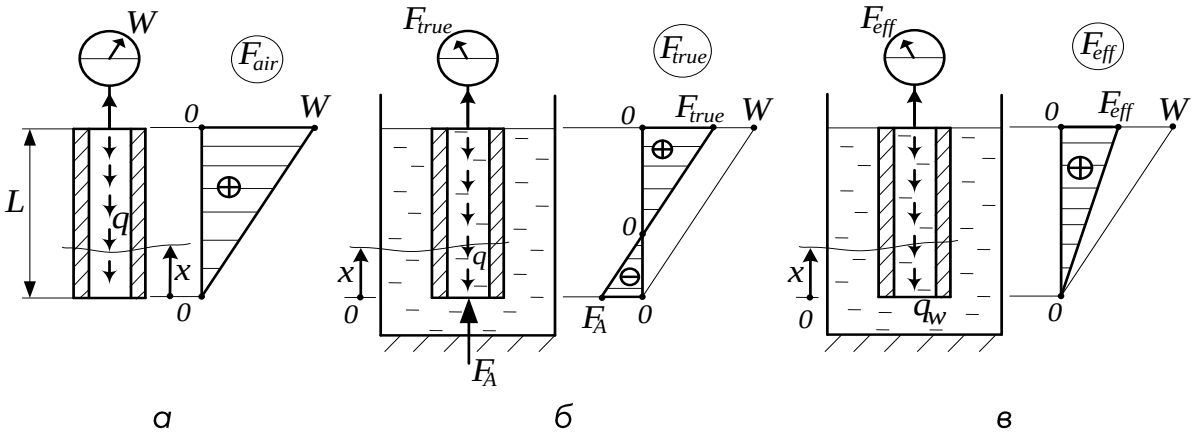
Продольная сила при плавучести

Рассмотрим буровую колонну упрощенно в виде трубы, вертикально подвешенной на весах в воздухе и в жидкости (рис. 1). При нахождении трубы в воздухе (рис. 1, *а*) нагрузкой является только ее собственный удельный вес *w*, кг/м, и значение продольной силы в произвольном сечении трубы на расстоянии *x* от ее нижней точки будет равно:

$$F_{air}(x) = w \cdot x \ , \quad 0 \le x \le L, \text{ кг}. \tag{2}$$

Продольная сила F_{air} линейно изменяется по высоте трубы от нуля до полного веса трубы на верху $F_{air}(L) = wL = W$, как показано на эпюре (рис. 1, *а*).

Теперь погрузим трубу в жидкость по уровню ее поверхности, чтобы упростить выкладки, так как в этом случае на трубу не будет дополнительно действовать столб жидкости над ней (рис. 1, *б*, *в*). Определим продольную силу в трубе согласно двум школам.



а *б* *в*

Рис. 1. Определение продольной силы: *а* – труба в воздухе, gravity; *б* – принцип метода сил, true force; *в* – принцип Архимеда, effective force

Принцип метода сил

Согласно методу сил при погружении трубы в жидкость ее плотность и удельный вес будут как в воздухе, а возникает только сосредоточенная сила Архимеда F_A, которая действует на нижний конец (рис. 1, *б*). Тогда значение продольной силы в произвольном сечении трубы на расстоянии x от ее нижней точки будет равно:

$$F_{true}(x) = -F_A + w \cdot x, \ 0 \le x \le L, \text{ кг}. \quad (3)$$

Графически продольная сила будет также линейно и с тем же наклоном изменяться по высоте трубы от значения силы Архимеда F_A до величины $F_{true}(L) = -F_A + wL$, как в воздухе (рис. 1, *а*, *б*). Продольную силу по этому методу называют «истинная сила» (trueforce).

Принцип Архимеда

При погружении трубы в жидкость по принципу Архимеда (рис. 1, *в*) считается, что обезвешивается в воде каждый слой трубы, каждый ее объем, что можно учесть ее новым, сниженным, удельным весом w_s в жидкости, определяемым как:

$$w_s = w - S \cdot \rho, \text{ кг/м}, \quad (4)$$

где w_s – удельный вес трубы в жидкости; S – площадь сечения трубы.

Тогда продольная сила определится также как и для случая трубы в воздухе:

$$F_{eff}(x) = w_s \cdot x \ , 0 \le x \le L, \text{ кг}. \quad (5)$$

Продольная сила по этому методу называется «эффективной силой» (effective force), она также линейно изменяется по высоте трубы, но с другим наклоном, достигая на поверхности значения $F_{eff}(L) = w_s L$.

Можно заметить, что с учетом выражений (1–5) значения эффективной и истинной силы будут равны на поверхности, отличаясь в остальных точках трубы. Между двумя подходами существует зависимость, которую называют «сила поддержки устойчивости» F_{BS} (stability force, buckling force), которая равна разности эффективной и истинной силы:

$$F_{eff}(x) = F_{true}(x) + F_{BS}(x), \quad (6)$$

$$F_{BS}(x) = F_{eff}(x) - F_{true}(x) = w_s \cdot x - (F_A + w \cdot x) = -F_A + S \cdot \rho \cdot x. \quad (7)$$

Значения истинной и эффективной сил различаются на величину, равную давлению жидкости на рассматриваемом уровне, умноженным на площадь сечения трубы на этом же уровне; или, иначе говоря, равную

весу жидкости, вытесненной трубой выше рассматриваемого уровня. Такое определение справедливо для стоячей жидкости при отсутствии циркуляции, когда действует только гидростатическое давление [5] (рис. 2, *а*).

Учет циркуляции бурового раствора

В случае обычной работы буровой колонны в среде непрерывной циркуляции бурового раствора в скважине, значения давлений жидкости внутри и снаружи трубы на одной глубине будут разными и выражение (8) примет более общий вид [6]:

$$F_{BS}(x) = F_{eff}(x) - F_{true}(x) = p_o S_o - p_i S_i, \qquad (8)$$

где p_i, p_o – давление внутри и снаружи трубы соответственно; S_i, S_o – площадь сечения трубы по ее внутреннему и наружному диаметру.

При обычной циркуляции бурового раствора через трубу в скважину, давление внутри трубы будет больше, чем давление снаружи при свободном сбросе. Поэтому в этом случае значение эффективной силы в трубе на уровне поверхности будет несколько меньше, чем истинная сила. Также при циркуляции бурового раствора через сопла долота возникает ударная сила струи F_{IF}, которая сжимает низ компоновки низа буровой колонны (рис. 2, *б*).

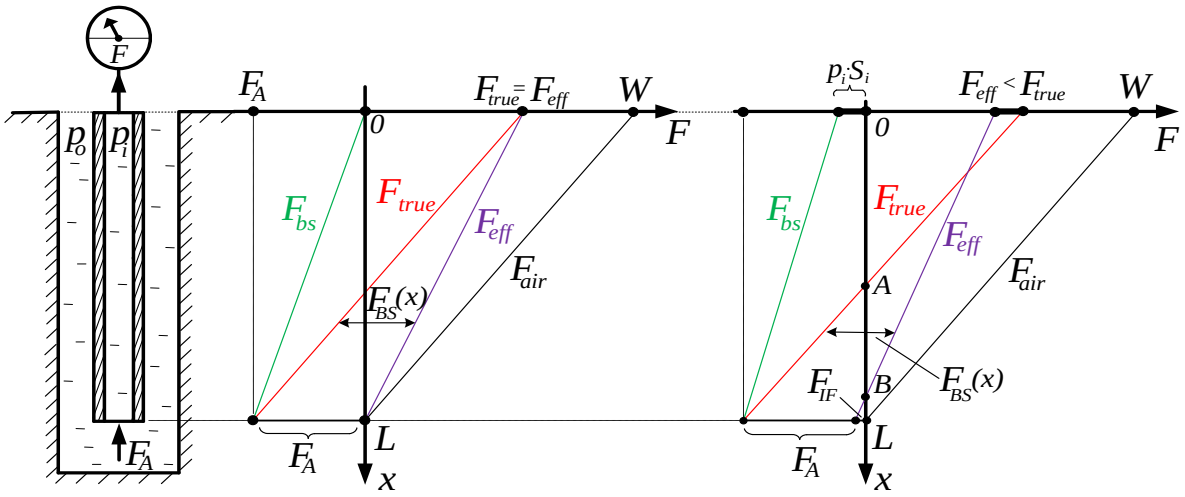


Рис. 2. Эффективная и истинная сила: *а* – циркуляция отсутствует, $p_i(0) = p_o(0) = 0$; *б* – прямая циркуляция $p_i(0) > 0$, $p_o(0) = 0$

Соотношение истинной и эффективной сил может быть и обратным, например, при обратной циркуляции через затрубное пространство, малом зазоре между буровой колонной и стенками скважины и др.

Обсуждение

В механике имеется теорема о единственности решения, то есть в теле при заданной нагрузке и закреплениях возникает одно единственно воз-

можное внутреннее силовое состояние. Здесь же наличие двух школ плавучести приводит к неоднозначному решению для продольных сил. Возникает вопрос, какая из двух продольных сил (F_{eff}, F_{true}) является корректной? В нефтяной промышленности оказались востребованными обе продольные силы для разных целей, поскольку они определяют разные эффекты влияния бурового раствора на работоспособность буровой колонны и ее элементов.

Истинная сила F_{true} применяется для расчета напряженно-деформированного состояния элементов буровой колонны, поскольку этой силе соответствуют действительные напряжения и деформации [7]. Получаемые напряжения обеспечивают проверку статической и усталостной прочности материала элементов бурильной колонны, а деформации позволяют оценить изменения ее размеров под нагрузкой.

Эффективная сила F_{eff} обычно выводится в расчетах из величины действительной силы путем учета силы F_{bs} согласно выражениям (6) и (8). Исследования НДС трубы в жидкости показали [8, 9], что учет силы F_{bs} приводит к исключению из напряжений в трубе гидростатической составляющей, которая не оказывает влияния на устойчивость бурильной колонны и не влияет на прочность пластических стальных материалов, которые применяются для элементов бурильных колонн. Поэтому эффективная сила широко используется для проверки устойчивости, которая является одним из важнейших условий работоспособности бурильной колонны. По этой причине в некоторых расчетных программных комплексах по расчету бурильных колонн и скважин из двух продольных сил в результатах приводится только эффективная сила [10]. Истинная сила в этих программах в явном виде не фигурирует, а участвует только для расчета напряжений и деформаций.

Другим важным условием работоспособности буровой колонны является положение ее нейтральной точки, которая должна находится в пределах компоновки низа буровой колонны. При расчете продольных сил на рис. 2, *б* получаем две нейтральные точки, т. *A* и т. *B*. Нейтральная точка *A* получается при пересечении графика истинных сил с вертикальной осью ей соответствует разгруженная область боровой колонны с истинным нулевым напряжением и деформацией.

Однако для условия устойчивости буровой колонны рационально учесть ее нечувствительность к гидростатическим напряжениям, поэтому более актуальной нейтральной точкой становится т. *B*. Точка *B* расположена значительно ниже т. *A*, уменьшая область и величину сжатия этой части буровой колонны. Следовательно, учет эффективных сил позволяет более полно использовать фактическую устойчивость, увеличивая допускаемые нагрузки на долото и увеличивая скорость проходки. Таким образом, наличие двух школ плавучести позволяет более точно и всесторонне оценить ее влияние на работоспособность буровой колонны в разных проявлениях: прочность, жесткость и особенно устойчивость.

Заключение

В работе рассмотрены разные подходы к расчету внутренних сил при плавучести буровой колонны и двойственность получаемых результатов в виде истинной и эффективной силы. Показана необходимость учета обеих сил для оценки работоспособности буровой колонны и их взаимосвязь между собой.

Работа выполнена в рамках проекта № 2023090209805 «Разработка математических моделей, методов, алгоритмов и программы расчета гидравлических нагрузок на бурильную колонну в процессе строительства скважин», поддержанного Красноярским краевым фондом науки и ООО «ГЕОНАВИГАЦИЯ».

Список источников

1. Samuel R., Kumar A. Effective Force and True Force-What are They? IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition, San Diego, California, USA, March 2012. IADC/SPE 151407.

2. Mohazzabi P. Archimedes' Principle Revisited. Journal of Applied Mathematics and Physics. 2017. Vol. 5. P. 836–843. URL: https://doi.org/10.4236/jamp.2017.54073.

3. Aadnoy B. S., Kaarstad E. Theory and Application of Buoyancy in Wells. IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference and Exhibition, Bangkok, Thailand, November 2006.

4. Kaarstad E., Aadnoy B. S. Theory and Application of Buoyancy in Wells. Modern Applied Science. 2011. Vol. 5(3). P. 15–32. doi: 10.5539/mas.v5n3p15.

5. Nergaard A. The Magic of Buoyancy and Hydrostatics – Buoyancy and Effective. Modern Applied Science. 2017. Vol. 11(12). P. 77–83. URL: https://doi.org/10.5539/mas.v11n12p77.

6. Mitchell R. F. Fluid Momentum Balance Defines the Effective Force. SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition, Amsterdam, The Netherlands, March 2009. SPE/IADC 119954.

7. Sparks C. P. The Influence of Tension, Pressure and Weight on Pipe and Riser Deformations and Stresses. ASME. J. Energy Resour. Technol. March 1984. Vol.106(1). P. 46–54.

8. Kjetil F. A study of fracture mechanisms when exposed to hydrostatic loads, Master thesis. University of Stavanger. 2014. 83 p.

9. Arslan M., Ozbayoglu E. M., Miska S. Z., etc. Buckling of Buoyancy-Assisted Tubulars. SPE Drill & Compl. 2014. Vol. 29. P. 372–385. doi: https://doi.org/10.2118/159747-PA.

10. PowerPlan Tecnnical Manual. Schlumberger. 2004. 430 p.

УДК 62-98

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CFD-МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

И. С. Личадеев[1], А. В. Мирошников[2]

[1, 2]ООО «ОКБ Микрон», Красноярск, Россия
[1]lis@terus.com

Введение

Современные реалии российской экономики диктуют сильно сжатые сроки при создании опытных образцов новой промышленной наукоемкой продукции. Согласно Постановлению Правительства РФ от 12.12.2019 № 1649, сроки создания опытного образца, составляют 2–3 года. Такие короткие сроки требуют принятия оптимальных решений на ранних этапах проектирования. Важную роль в принятии этих решений играют CAD-модели, которые помогают не только сформировать облик прототипа, но и создать на их основе расчетные модели с использованием численных методов или CAE-моделирования.

Создание таких CAE-моделей – процесс достаточно трудоемкий с точки зрения оценки точности данных (погрешности результата), полученных в CAE-моделях. Для оценки предлагается использовать сопоставление результатов классического эксперимента и результатов расчета численных моделей.

Классические эксперименты существенно отличаются от валидационных. Валидационные эксперименты тесно связаны с сертификацией вновь создаваемой продукции, в частности это верификация и валидация программного кода или CFD-кода, использованного в программных продуктах (программном обеспечении в сфере CAE) и его последующей сертификации [1–3].

Планирование валидационного эксперимента должно проводиться в тесном сотрудничестве между экспериментаторами, создателями математической модели, разработчиками и пользователями компьютерного кода [4]. Планирование же классического эксперимента – процесс гораздо менее трудоемкий, не требует участия дополнительных лиц, так как цель классического эксперимента, в одном из его видов, направлена на проверку по-

© Личадеев И. С., Мирошников А. В., 2024

нимания фундаментальных физических процессов и определения порядка их величины с заданной в процессе планирования степенью точности.

Методы

Был проведен простейший эксперимент по оценке гидравлического сопротивления исследуемого гидравлического контура генератора мобильной ветроэнергетической установки, мощностью 65 кВт. Гидравлическая схема экспериментального стенда представлена на рис. 1.

Целью эксперимента стало получение значений зависимости потерь давления Δp_k, Па в зависимости от расхода теплоносителя в гидравлическом контуре Q_k, л/мин генератора. По результатам эксперимента предполагается создание электронной 3D-CAE-модели в виде CFD-модели катушки для оценки исследуемого гидравлического сопротивления на режиме 0,12 м^3/ч при температуре рабочей жидкости 120 °С.

Исходя из доступности на рынке, были выбраны два вида рабочих жидкостей на нефтяной и кремнийорганической основе – это трансформаторное масло ГК «Роснефть» и силиконовое масло ПМС-5. Интересующие характеристики при температурах 80 °С и 120 °С, такие как плотность ρ, кг/м^3, и кинематическая вязкость ν, сСт, были назначены из источников [5–7]. Например, для ПМС-5 это $\rho_{80} = 864, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\nu_{80} = 2{,}34$ и $\rho_{120} = 821{,}6, \text{кг/м}^3$, $\nu_{80} = 1{,}5$, сСт.

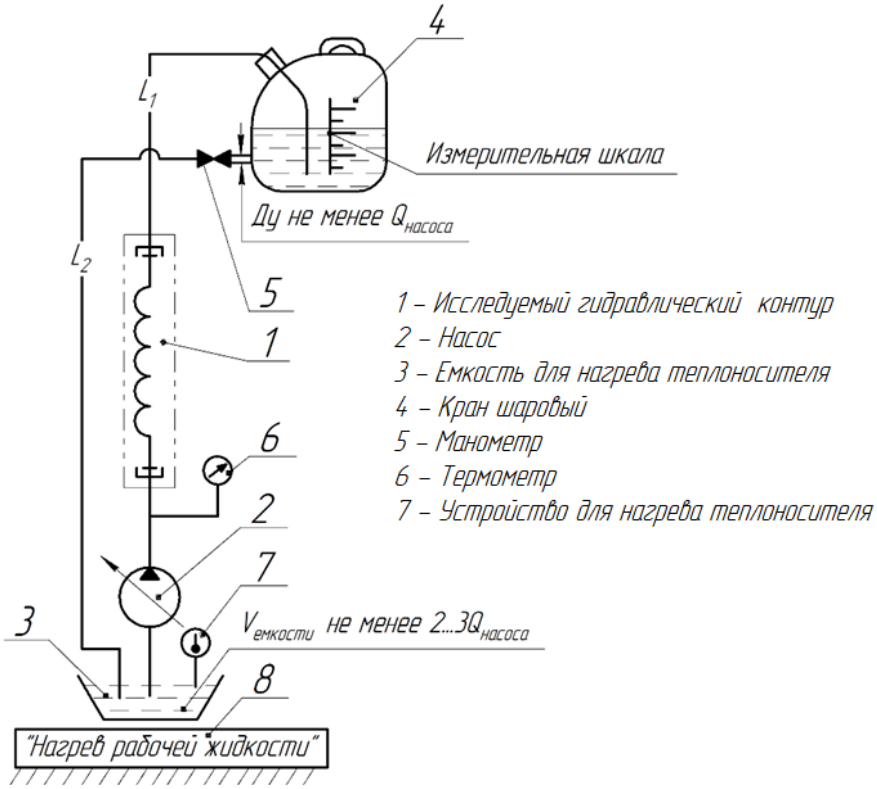


Рис. 1. Принципиальная гидравлическая схема стенда

Оценка погрешности измерений была выполнена следующим образом. Для измерения потерь давления гидравлического сопротивления был использован манометр с классом точности 2,5; расчетная погрешность манометра составила $\Delta_m = \pm 0{,}015$ МПа.

Для подсчета расхода жидкости, проходящего через исследуемый гидравлический контур, была использована формула отношения измеряемого объема V к единице времени t_m. Мерная емкость объемом 1 л имеет погрешность ± 0,4 мл. Для измерения времени был использован секундомер механический СОПпр-2а-3-ООО, при измерении времени до 10 минут погрешность отсутствует. К погрешности измерения расхода следует добавить дополнительную погрешность ± 50 мл – суммарный мерный объем за время истечения 2 л исследуемого объема. Температура измерялась пирометром инфракрасным тепловизионным Bosch GTC 400C погрешность измерения ± 3 %.

Результаты эксперимента с суммарной погрешностью представлены в табл. 1. Интересующий нас турбулентный режим в исследуемом гидравлическом контуре был выявлен только на силиконовом масле при температуре 80 °C ($Re = 3327$).

Таблица 1

Результаты эксперимента. Силиконовое масло ПМС-5

Температура жидкости, °C	Давление на входе, p_{in}, МПа	Измеряемый объем, V, л	Осредненное время набора емкости, t, с	Расход в исследуемом контуре, Q_k, л/мин	Оценочная суммарная погрешность измерения
80	0,2	2	118	1	10 %

Описание численной модели и результаты моделирования

Численная модель в данной работе представляет собой созданную в программном пакете Ansys CFX CFD-модель, в основе которой лежит solid-геометрия (CAD-модель).

Методология создания CFD-модели пошагово выглядит следующим образом:

1) определяем теоретическую основу для выбора турбулентной модели из предложенных (в программе расчета) с учетом характеристик потока, свойств жидкости и опыту решения похожих задач других исследователей;

2) генерируем расчетную сетку, от сетки с простейшими настройками и минимально допустимой согласно solid-геометрии модели размере ячейки, с шаговым увеличением и уменьшением сетки для оценки сходимости, до адекватных значений количества элементов расчетной сетки, значений Y+ и времени расчета;

3) выбираем сетку с размером ячейки, показавшую наилучший результат и измельчаем сетку у стенки (вводим ламинарный подслой) и проверяем сходимость аналогичным образом, как в п. 2.

Рассмотрим предложенную методологию на примере данной работы.

1. В Ansys CFX предложены четыре модели турбулентности, два из которых $k-\varepsilon$ и $BSL\ Reynolds\ Stress$ доступно описаны в [4]. В данной работе оценена сходимость на этих двух моделях (см. табл. 2) в рамках исследуемого гидравлического контура.

2. В качестве базовой ячейки выбран размер 1 мм. Оценена сходимость $BSL\ Reynolds\ Stress$ (см. табл 2) У модели $k-\varepsilon$ сразу выявилась большая погрешность поэтому она переведена на п. 3.

3. При введении ламинарного подслоя наоборот $k-\varepsilon$ показала лучший результат. Возможно, это связано с тем, что в настройках $BSL\ Reynolds\ Stress$ функция стенки была выставлена «автоматически», а у $k-\varepsilon$ «масштабируемая».

Результаты расчета CFD-модели в интересующих режимах

Таким образом, для дальнейших расчетов была принята $k-\varepsilon$ с настройками № 2 (см. табл. 2).

Нас интересует режим, когда температура ПМС-5 120 °С и расход 0,12 м^3/ч через контур. Скорость на входе 0,17 м/с и число Рейнольдса $Re = 9095$.

Гидравлическое сопротивление исследуемого контура в таком случае составит 723 450 Па, с Y+ = 48.6 (см. рис. 2).

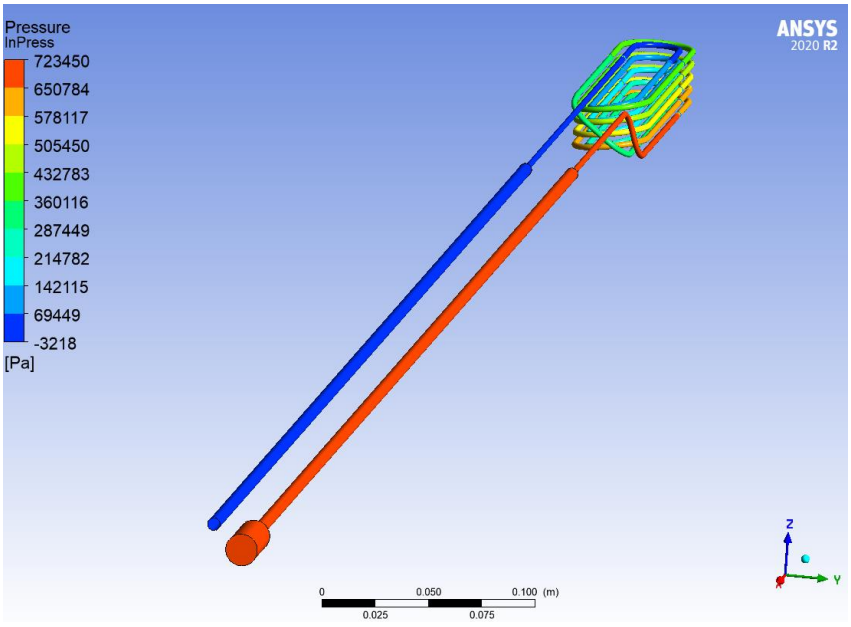


Рис. 2. Результаты расчета при 120 °С и 0,12 м^3/ч на силиконовом масле ПМС-5

Таблица 2

Оценка сеточной сходимости CFD-модели

№	Размер ячейки, мм	Модель турбулентности	Дополнительные настройки	Давление в сеч. колл. на входе, $p_{c.in.CFD}$, Па	Y+	Разница, % относительно расчетных значений $p_{c.in.calc}$ = = 202 650 Па	Кол-во элементов
1	1	$k-\varepsilon$	нет	511 257	61,6	>100 %	786 128
2			Face Sizing 0,4 мм Inflation 0,05 × 5, k=1,2	236 664	15,6	14 %	10 371 395
3			Face Sizing 0,6 мм Inflation 0,075 × 5, k = 1,2	249 963	15,9	19 %	4 179 768
4			Face Sizing 0,8 мм Inflation 0,1 × 5, k = 1,2	261 855	16,2	23 %	2 167 994
1	1,75	*BSL Re Stress*	нет	232 398	52	13 %	149 914
2	1,5			200 583	53	1 %	231 084
3	1,25			218 653	49	8 %	406 097
4	1			229 705	38	13 %	786 182
5	0,75			249 780	31	18 %	1 847 776
6	0,5			289 606	25	30 %	4 433 138
7	1		Face Sizing 0,4 мм Inflation $0{,}05^{1{,}2} \times 5$	357 562	8	43 %	10 371 395

Список источников

1. ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. Национальный стандарт Российской Федерации.

2. ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Системы менеджмента качества. Требования. Национальный стандарт Российской Федерации

3. ГОСТ Р 57188–2016. Численное моделирование физических процессов. Термины и определения. Национальный стандарт Российской Федерации.

4. Железняков А. Л. Технологии верификации и валидации в численном газодинамическом моделировании // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2018. Т. 19 (2). С. 8–35.

5. Казанцев Е. И. Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования. М. : Металлургия, 1975. 368 с.

6. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М., 1972. 720 с.

7. Алексеев П. Г., Скороходов И. И., Поварнин П. И. Свойства кремний органических жидкостей : справочник. М. : Энергоатомиздат, 1997. 328 с.

8. Москвичев А. В. Применимость моделей турбулентности реализованных в ANSYS CFX для исследования газодинамики в щелевом канале ТНА ЖРД // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2013. № 5-1. С. 82–85.

УДК 534.13

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СУХИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ОКРУЖАЮЩИЕ ОБЪЕКТЫ

Р. С. Лукин

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
rlukin@sfu-kras.ru

Трансформаторы и трансформаторные подстанции являются одним из источников акустического и вибрационного воздействия на оборудование, размещенное в непосредственной близости от них. Задача усложняется при наличии однородного тракта передачи вибрационного воздействия, такого как единый фундамент. В настоящее время при проектировании зданий и сооружений, в состав которых водят трансформаторные подстанции, сопровождается оценкой звукового воздействия трансформаторов с точки зрения санитарных норм. Однако в тех случаях, когда необходимо оценить вибрационное воздействие на окружающие оборудование, необходимо предусматривать дополнительную экспериментальную оценку их воздействия. К такому оборудованию можно отнести высокоточное измерительное, медицинское и научное оборудование, ограничивающую величину колебаний вплоть до значений вибрационной скорости 3,1 мкм/с в пределах 8–80 Гц [1] согласно требованиям критерия вибрации VC-E.

Вибрационные нормы [2] допускают уровень звукового давления вплоть до 95 дБА на 1/3 октавной частоте 63 Гц. При этом ограничение в 82 дБА не всегда соблюдается для различных типов трансформаторов [3]. При этом уровень звукового воздействия рассматриваемых сухих трансформаторов значительно ниже, чем у масляных по данным различных измерений.

Отправной точкой для определения количественных характеристик воздействия, задаваемого в расчетной модели, могут служить измерения звукового воздействия, измеренные in-situ для трансформаторов целевой мощности. При известном характере вибрации это дает возможность определить амплитуды динамических сил, возникающих в магнитном сердечнике трансформатора.

© Лукин Р. С., 2024

Применение численных методов, в частности односторонне сопряженного гармонического и акустического анализа, позволяет определить уровни вибрации, которые вызываются звуковыми волнами и волнами, использующими в качестве тракта передачи стены и перекрытия. При известном уровне ограничения вибрации пола целевого оборудования это позволит оценить необходимость применения вибрационной изоляции на этапе проектирования и разработать эффективную изоляцию на этапе разработки рабочей документации.

Расчетная модель сухого трансформатора с учетом антивибрационных опор представляет из себя два тела (магнитный сердечник и обмотки), расположенные внутри воздушного домена. Магнитный сердечник можно опираться на фундамент через промежуточные рамы или специальные катки. При этом возможно применение антивибрационных опор, включающих в себя деталь повышенной податливости. Для фундаментной плиты необходимо учесть также податливость низлежащего свайного поля или подушки ленточного фундамента, определенного на основании нормативных, справочных или экспериментальных данных. Пример отклика фундамента на данное воздействие представлен на рис. 1. Отклик возникает вследствие деформации опорной рамы, расчетная модель которой показана на рис. 2.

Основной сложностью при определении уровня вибрационного воздействия трансформатора на фундамент здания является определение динамических усилий (амплитуда и частота) в теле трансформатора, которые и являются основным источником звукового и вибрационного воздействия трансформатора на окружающую среду.

Задачей дальнейшего исследование является разработка расчетной модели применимой для определения вибрационного воздействия трансформатора на фундамент здания и близлежащие помещения для нормального режима его (трансформатора) эксплуатации.

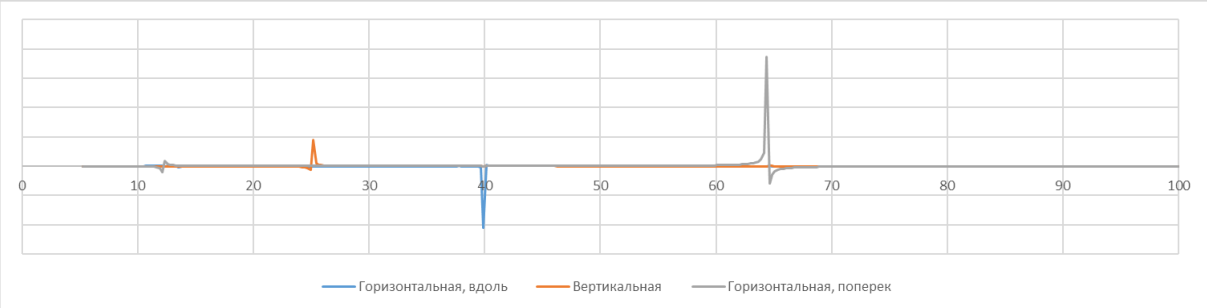


Рис. 1. Характер отклика трансформатора в горизонтальном направлении

В рамках дальнейших исследований на основании разработанной расчетной модели планируется оценить эффективность применения различных мер виброизоляции и их поглощающей способности [5]. Важными элементами гашения вибрации, которые может учесть разрабатываемая

расчетная модель, являются антивибрационные опоры, экраны, дополнительные перекрытия и двойные полы с наполнением, рассеивающим вибрационные волны.

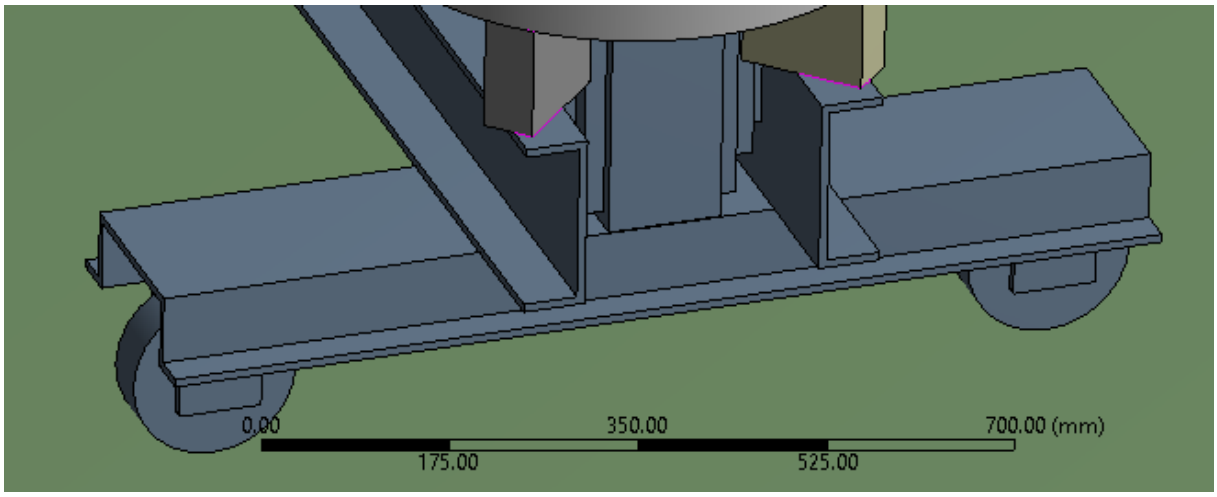


Рис. 2. Типовое исполнение опор трансформатора

Список источников

1. Воронков А. А. Оценка воздействия вибрации в помещениях на чувствительное оборудование. Обзор подходов и практический опыт // Мир измерений. 2019. № 3. С. 34–36.

2. ГОСТ 12.2.024–87. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Трансформаторы силовые масляные. Нормы и методы контроля. Введ. 1/1 1989. М., 1988. 26 с.

3. Костюков А. В. Экспериментальные исследования акустических характеристик трансформатора // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. № 12. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnye-issledovaniya-akusticheskih-harakteristik-transformatora (дата обращения: 24.09.2023).

4. Строганов Ю. Снижение шума и вибрации трансформаторов и реакторов в эксплуатации // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2008. № 1. С. 9–20.

УДК 621.762:669.715

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

О. А. Масанский[1], Л. И. Квеглис[2], А. М. Токмин[3], С. О. Масанский[4], Л. С. Кузембаева[5]

[1, 2, 3, 4]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[5]Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова, Кокшетау, Казахстан
[1]pi775@yandex.ru

Развитие современной промышленности, как отечественной, так и зарубежной, требует разработки новых материалов с повышенными характеристиками физико-механических и эксплуатационных свойств. Это обусловлено тем, что применение имеющихся на сегодняшний день материалов для достижения требуемых характеристик практически исчерпало свой ресурс.

В настоящее время особый интерес представляют металломатричные композиционные материалы (далее – ММКМ) с армированной гетерофазной структурой. ММКМ относятся к литым композиционным материалам функционального и конструкционного назначения, состоящим из металлической основы (матрицы), армированной равномерно или заданным образом распределенными в ней тугоплавкими высокомодульными частицами экзогенного и/или эндогенного происхождения, не растворяющимися в металле матрицы при температурах получения и эксплуатации изделий [1, 2]. Целью создания ММКМ является объединение схожих или разнородных компонентов для получения материала с новыми заданными свойствами и характеристиками, отличными от свойств и характеристик исходных компонентов. С появлением такого рода материалов возникает возможность селективного выбора свойств создаваемых композитных материалов (далее – КМ), необходимых для нужд в конкретной области применения. В качестве материала матрицы могут быть использованы как «чистые» металлы, так и сплавы на их основе. Стоит отметить, что матрица может состоять не только из одного компонента, а из двух и более разнородных материалов, что относится к полиматричным КМ. Усиливающими или армирующими компонентами чаще всего являются тонкодисперсные порошко-

© Масанский О. А., Квеглис Л. И., Токмин А. М., Масанский С. О., Кузембаева Л. С., 2024

образные, в т. ч. и наночастицы или волокнистые материалы различной природы. Технологический процесс получения литых композиционных материалов (далее – ЛКМ) и отливок из них может быть условно разделен на три основных стадии: подготовка расплава и армирующих частиц; совмещение армирующих частиц и матрицы; обработка полученных смесей в жидком, кристаллизующемся и твердом состояниях [3].

Структура ММКМ представляет собой матрицу состоящей из металла или сплава с растворенными в ней армирующими частицами, которые могут быть как искусственно введенными на одной из технологических стадий получения материала (экзогенно-армированные композиты), так и синтезированными непосредственно в матричном расплаве в процессах плавки и литья (эндогенно-армированные композиты) [4].

Разработка и создание новых ММКМ позволит повысить экономическую эффективность деталей машин и оборудования различного назначения за счет снижения удельного веса, повышения прочностных характеристик, низкого линейного коэффициента термического расширения, повышения жаропрочности, коррозионно- и износостойкости, тепло- и электропроводности.

В настоящее время, по экспертным оценкам, доля литых композиционных материалов на основе алюминиевой матрицы в общемировом объеме производства металломатричных композитов составляет более 50 % (рис. 1) [5]. Наибольшее применение находят материалы, армированные SiC (около 19 %) и Al_2O_3 (около 10 %) (рис. 2) [5].

Наиболее распространенным методом получения литейных ММКМ является метод совмещения фаз путем энергичного перемешивания расплава матрицы с вводом в него дисперсных частиц или коротких волокон армирующих компонентов (рис. 3).

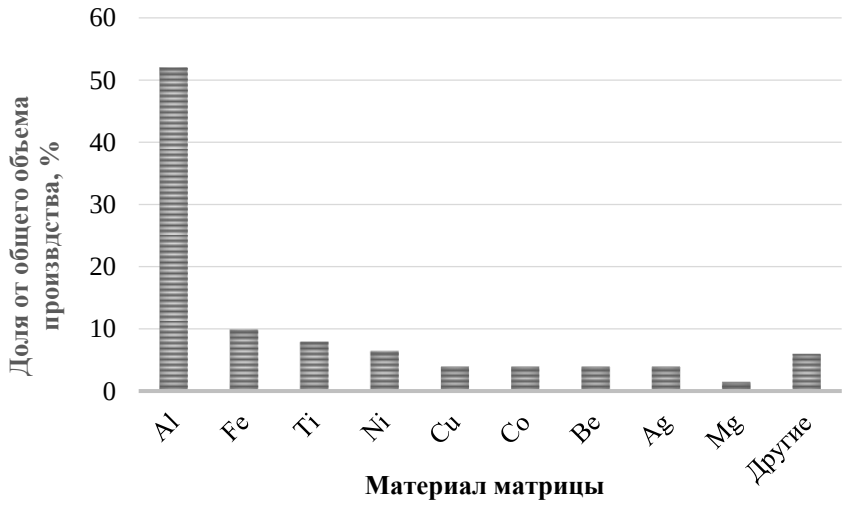


Рис. 1. Доля ММКМ в зависимости от состава матрицы

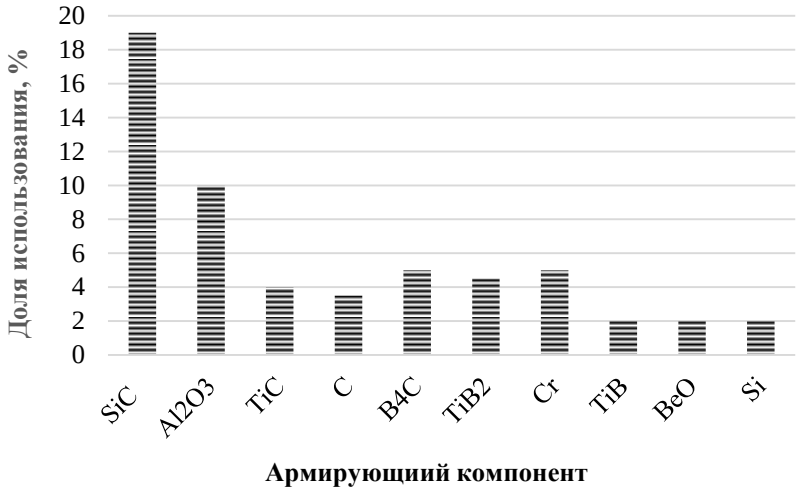


Рис. 2. Доля ММКМ в зависимости от состава армирующего компонента

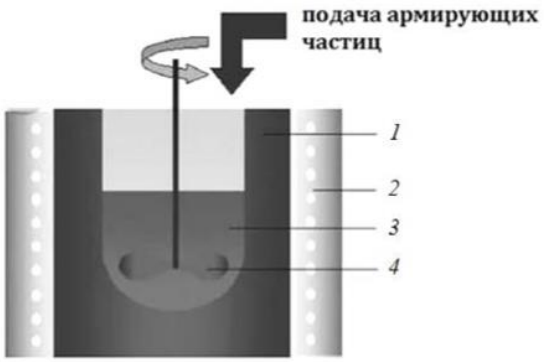


Рис. 3. Схема получения МКМ методом механического замешивания:
1 – тигель; *2* – печь; *3* – матричный расплав; *4* – импеллер

Установка включает в себя тигель с матричным расплавом, установленный в печи и снабженный донным стопором. В тигель погружают импеллер, а под тиглем находится литейная форма. Армирующие частицы вводят засыпкой на лопасти вращающегося импеллера при медленном снижении температуры. После подготовки суспензии открывают донное отверстие и заливают форму. Данный метод имеет ряд недостатков, к основным из которых можно отнести: интенсивное газонасыщение расплава матрицы в процессе замешивания армирующих частиц, пористость полученных отливок, образование конгломератов из армирующей фазы и окисных пленок матричного материала, невозможность введения тонкодисперсной, в т. ч. наноразмерной, армирующей фазы, эрозионный износ лопастей импеллера.

Анализ существующих на сегодняшний день технологий получения ММКМ: ультразвуковое замешивание, плазменная инжекция порошковых частиц, методы эндогенного армирования, инжекция струей инертного газа, механическое замешивание реакционно-активных порошков и др. позволяет сделать вывод, что используемые методы получения ММКМ

не имеют стабильных результатов, а в некоторых случаях применимы только для отдельных видов ММКМ (по типу матрицы).

По мнению авторов статьи, представляет интерес получения ММКМ с применением электромагнитного перемешивания армирующих компонентов с материалом матрицы и последующей разливки через водоохлаждаемый электромагнитный кристаллизатор.

Список источников

1. Prusov E.S. Modern Methods of Metal Matrix Composite Alloys Production and New Approaches to Realization of Reinforcing Scheme // Machines, Technologies, Materials. 2014. Vol.1. Pp. 11–13.

2. Прусов Е. С., Панфилов А. А., Кечин В. А. Современные методы получения литых композиционных сплавов // Литейщик России. 2011. № 12. С. 35–40.

3. Бабкин В. Г., Черепанов А. И., Углев В. А. Теория и технология литейных композиционных материалов : электрон. учеб.-метод. комплекс дисциплины. URL: https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/138361.

4. Панфилов А. А., Прусов Е. С., Кечин В. А. Металлургия алюмоматричных композиционных сплавов : монография. Владимир : Изд-воВлГУ, 2017. 192 с.

5. Adebisi A. A., Maleque M. A., Rahman M. M. Metal matrix composite brake rotor: historical development and product life cycle analysis // International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2011. Vol. 4. P. 471–480.

УДК 004.032.26

КЛАССИФИКАЦИЯ И КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ САМООБУЧАЕМОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

А. Н. Сочнев[1], Ю. Г. Голых[2]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]asochnev@sfu-kras.ru

Введение

Важной задачей, предваряющей проектирование производственных систем и оперативно-календарное планирование производства, является классификация, кластеризация и кодирование планируемых к производству изделий. Классификация и группирование позволяет определить групповые технологии, предварительно сформировать для них производственные участки, оценить из загрузки и качество системы в целом.

По результатам группирования в каждой группе можно выделить изделие-представитель, по которому выполняются все проектные работы. В качестве таких изделий выбираются наиболее характерные изделия данной группы, как правило преобладающие как по общему количеству, так и по трудоемкости изготовления [1].

Все детали классифицируются по конструктивно-технологическим признакам. При классификации деталей по конструктивным характеристикам за основу приняты следующие основные признаки: геометрическая форма; функциональное назначение; параметрический; конструктивный; служебное назначение; наименование. В соответствии с ЕСКД на все детали машиностроения и приборостроения установлены шесть классов: 71–76. Основным признаком деления (кроме класса 76) является геометрическая форма [2].

В основу технологической классификации положены следующие основные признаки классификации деталей: размерная характеристика, группа материалов, вид деталей по технологическому коду изготовления, вид исходной заготовки, квалитет точности, параметр шероховатости, технологические требования, характеристика термической обработки, толщина покрытия, поверхность покрытия, площадь формирования, характеристика массы и др.

По результатам анализа были сделаны два вывода о существующей системе классификации и кодирования. Во-первых, набор признаков,

© Сочнев А. Н., Голых Ю. Г., 2024

по мнению авторов, нуждается в расширении и более точной интерпретации имеющихся. Например, наличие роботов-манипуляторов в системе требует формирования групп с учетом их конструктивных ограничений. Кроме того, для распределения изделий по группам и выбора изделий-представителей требуются данные о производственной программе. Второе, более важное направление – автоматизация процесса классификации. Последнее весьма актуально в свете современного тренда на применение цифровых моделей и систем искусственного интеллекта.

Основной идеей данной работы является применение самообучающейся искусственной нейронной сети Кохонена для автоматизированного формирования групп деталей на основе их конструктивных характеристик. Часть признаков формируется на основе классификатора ЕСКД, другая часть выбрана эмпирическим путем для более точного определения групп.

Нейронные сети Кохонена

Нейронная сеть Кохонена преимущественно используется для решения задач кластеризации, т. е. объединения неких объектов в отдельные группы (кластеры). Решение о попадании объекта в тот или иной кластер принимается на основе значений его признаков, которые являются входными данными данного класса нейросетей [3].

Самоорганизующиеся карты – это одна из разновидностей нейросетевых алгоритмов. Основным отличием данной технологии от нейросетей, обучаемых по алгоритму обратного распространения, является то, что при обучении используется метод обучения без учителя, то есть результат обучения зависит только от структуры входных данных.

Алгоритм функционирования самообучающихся карт (Self Organizing Maps – SOM) представляет собой один из вариантов кластеризации многомерных векторов. Важным отличием алгоритма SOM является то, что в нем все нейроны упорядочены в некоторую структуру. При этом в ходе обучения модифицируется не только нейрон-победитель, но и его соседи, но в меньшей степени. За счет этого SOM можно считать одним из методов проецирования многомерного пространства в пространство с более низкой размерностью. При использовании этого алгоритма вектора, схожие в исходном пространстве, оказываются рядом и на полученной карте.

Пример реализации классификатора

В качестве исходных данных задан перечень продукции исследуемой производственной системы. На первом этапе алгоритма производится присвоение кодов согласно классификатору ЕСКД. Эти коды представлены в последнем столбце табл. 1.

Таблица 1

Номенклатура продукции

Изделие	Диа-метр (D)	Код	Длина (L)	Код	Материал	Код	Масса, кг	Код	Время ток., мин	Время фрез., мин	Код	Объем выпуска	Код	Код кон-структ.
Болт 1	12	1	44	1	Ст. 3	1	0,35	1	2.56	0	1	100	3	715211
Болт 2	24	1	82	1	Ст. 3	1	0,64	1	2.8	0	1	40	1	715211
Вал 1	36	1	160	2	Ст. 40Х	3	1,26	1	8.4	3.4	3	30	1	716513
Вал 2	86	3	180	2	Ст. 40Х	3	8,09	2	6.3	0	1	30	1	716723
Вал 3	52	2	240	2	Ст. 40Х	3	3,95	2	12.2	8	3	10	1	716723
Вал 4	126	3	42	1	Ст. 40Х	3	4,06	2	6.96	0	2	40	2	715532
Ввертыш	26	1	62	1	Ст. 15	1	0,26	1	7.8	0	2	16	1	715541
Матрица	320	4	32	1	Ст. 3	1	19,82	3	16	14	3	24	1	712143
Муфта	32	1	36	1	Ст. 3	1	0,22	1	8.5	0	1	6	1	713143
Фланец	28	1	42	1	Ст. 3	1	0,20	1	2.4	0	1	20	1	714212
Упор 1	60	2	42	1	АМг5	2	0,31	1	4.2	0	2	24	1	723211
Упор 2	66	2	78	2	Ст. 10	4	2,06	1	5.6	0	1	12	1	724211
Кольцо установ.	38	1	8	1	АМг5	2	0,021	1	20	0	1	60	2	711311
Шайба	20	1	4	1	Ст. 10	4	0,01	1	2	0	1	16	2	711111
Колесо гибкое	160	3	40	1	Ст. 30ХГСА	7	6,23	2	18	23	3	12	2	712131
Гайка	24	1	8	1	Ст. 3	1	0,03	1	8	0	1	40	2	711151
Шайба 1	42	1	4	1	Ст. 15	6	0,04	1	2.4	0	1	80	3	711121
Палец 1	24	1	88	2	Ст. 40Х	3	0,31	1	4.6	0	1	80	3	711213
Шайба 2	44	1	6	1	АМг5	2	0,024	1	3	0	1	40	2	711121
Фланец 1	26	1	92	2	Ст. 3	1	0,38	1	6.7	0	1	20	1	715254
Шпилька	22	1	48	1	Ст. 45	5	0,14	1	21.4	0	2	40	1	715113
Гайка 1	18	1	8	1	Ст. 3	1	0,016	1	8.4	0	1	60	2	711121

Далее определены коды по дополнительным критериям, используемым для классификации: диаметру, длине, материалу, массе, типам технологических операций, плановому объему производства. Данные коды определяются экспертным путем. По каждому изделию формируется набор признаков из двенадцати цифр, на основе которых будут формироваться группы.

Формальные принципы работы нейронных сетей Кохонена требуют предварительного определения размеров двумерной карты, на которую будут распределяться данные, подаваемые на вход. Ее размеры определяют максимальное число классов (кластеров), на которые делятся все объекты.

Вектор, подаваемый на вход нейронной сети, имеет размерность одиннадцать элементов. Из приведенного ниже листинга программы MATLAB видно, что признак, определяющий тип детали представлен двузначным числом (71, 72). Были проведены эксперименты для разного максимального количества формируемых классов, их результаты представлены на рис. 1. Видно, что в первом примере самый многочисленный класс деталей содержит шесть единиц, во втором – девять, в третьем – три. Текст программы создания и обучения нейронной сети приведен на рис. 2.

Заключение

Анализ результатов применения нейронной сети для решения задачи классификации и кластеризации изделий позволяет выявить достоинства и недостатки сформулированного подхода. Среди достоинств можно выделить: удовлетворительную точность решения задачи, простое масштабирование объема обрабатываемых данных, высокую скорость решения задачи. Кроме того, описанный подход лежит в тренде автоматизации и цифровизации процесса подготовки производства. К недостаткам можно отнести: формальную сложность, требования к квалификации специалистов и необходимость экспертной оценки значений некоторых признаков.

Наилучшим способом устранения указанных недостатков могло бы стать автоматизированное определение значений признаков по данным, полученным из файлов систем автоматизированного проектирования, а также добавление стандартных технологических признаков. Таким образом, при условии качественной программной реализации и минимизации человеческого фактора, описанный метод классификации деталей может найти своё место в системе технологической подготовки производства.

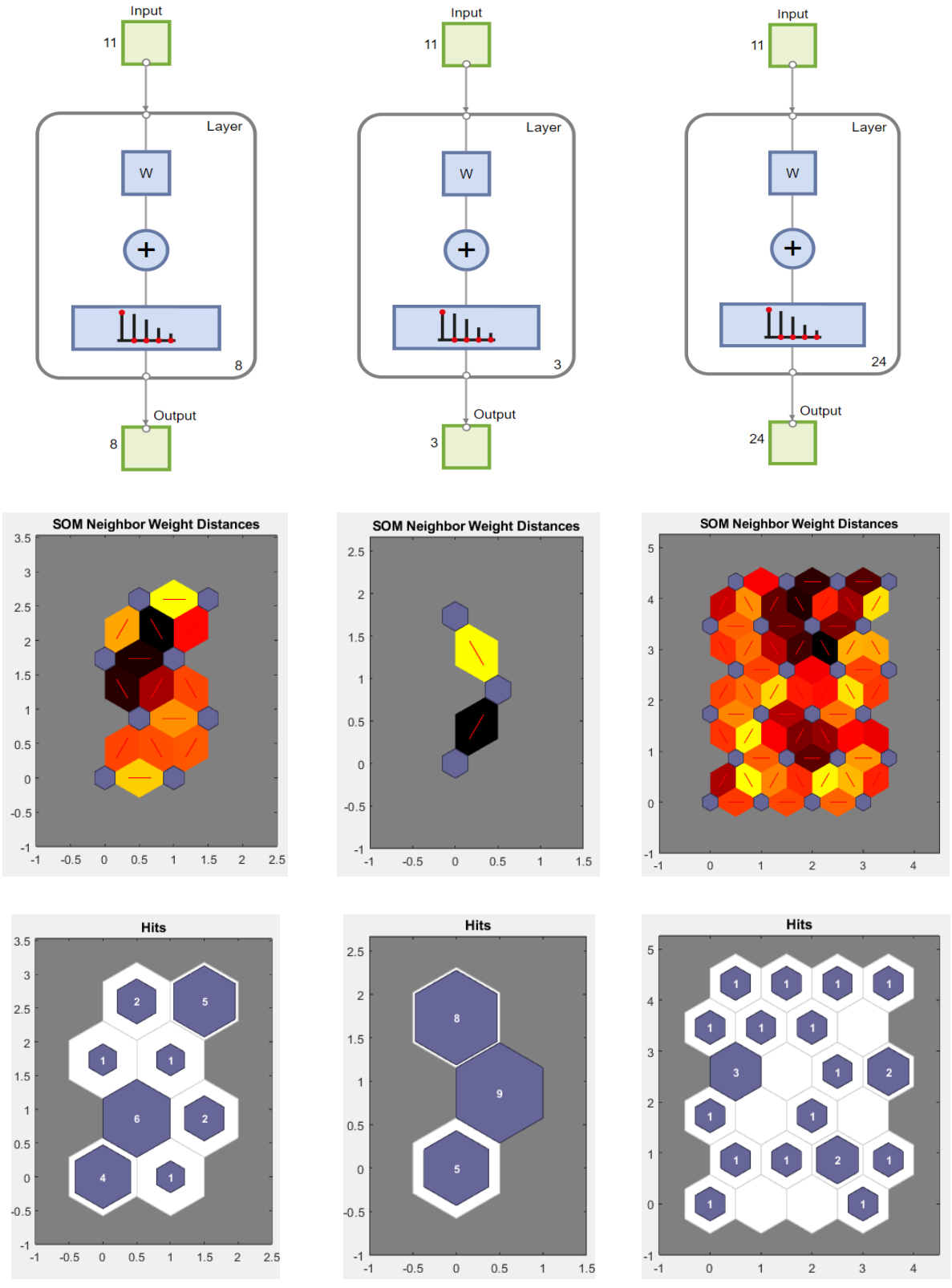


Рис. 1. Структура нейронной сети и полученные двумерные карты

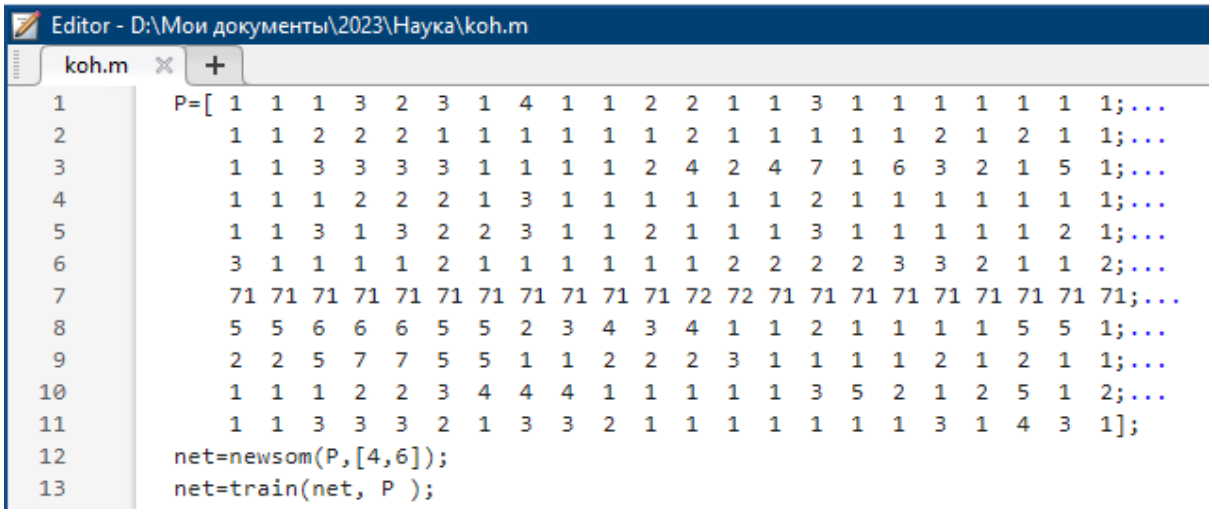


Рис. 2. Текст программы в MATLAB

Список источников

1. Харламов Ю. А., Вишневский Д. А., Петров П. А., Орлов А. А. Развитие кон-структорско-технологической классификации деталей машин // Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова. 2023. № 1.

2. Классификатор ЕСКД. URL: https://classinform.ru/ok-eskd/kod.

3. Кохонен Т. Самоорганизующиеся карты. М. : Лаборатория знаний, 2014. 655 с.

УДК 696.132

РАБОЧИЕ МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ БЕСТРАНШЕЙНОГО РЕМОНТА ТРУБОПРОВОДОВ РАЗНОГО ДИАМЕТРА

А. А. Шайхадинов[1], А. В. Ерлыков[2], В. А. Апанасенко[3], А. О.Дубяго[4]

[1, 2, 3, 4]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[2]erlykov02@bk.ru

Ремонт трубопроводов традиционными методами занимает очень много времени и требует больших затрат. Именно поэтому технологии бестраншейного ремонта трубопроводов различного назначения являются наиболее эффективным решением этой проблемы. Это современный экономичный метод ремонта сетей тепло-, водо- и газоснабжения, исключающий затраты на земляные работы и последующее восстановление (восстановление асфальтового покрытия и благоустройство вырытых территорий) [1, 2].

Поскольку недостатком этой технологии является невозможность разрушения старых трубопроводов разного диаметра с помощью одного рабочего механизма, вопрос о разработке такого рабочего механизма остаётся актуальным.

Целью работы было создание рабочих механизмов, позволяющих разрушать старые трубопроводы и протаскивать новые трубопроводы разных диаметров с большей надёжностью.

Перед созданием предлагаемых рабочих механизмов была проведена работа по исследованию уже существующих технических решений, относящихся к теме по ремонту трубопроводов разного диаметра. К данной теме относятся патенты на изобретение РФ № 2359164, 2386070, 2474744, 2491466, 2359164, 2491466.

Недостатком данных рабочих механизмов является их низкая надежность при разрушении старых и протаскивании новых трубопроводов разного диаметра. Потому что резьбовое соединение во многих патентах не может обеспечить необходимую прочность для разрушения старой трубы под необходимой нагрузкой. Кроме того, в некоторых механизмах отсутствует возможность изменения диаметра расширителя.

С целью устранения недостатков разработано два рабочих механизма, позволяющих протаскивать новые трубопроводы разных диаметров с большей надежностью.

© Шайхадинов А. А., Ерлыков А. В., Апанасенко В. А., Дубяго А. О., 2024

Первое предлагаемое техническое решение для бестраншейного ремонта подземных трубопроводов (рис. 1, *а*) состоит из труборазрушающего рабочего органа *1* с дисковым ножом *2* и опорным катком *3*, установленных друг напротив друга в вилках *4*, расширителя *5* для увеличения диаметра скважины и тягового элемента *6*, труборазрушающий рабочий орган *1*, в котором симметрично расположены червячные рейки *7*, выполненные заодно с вилками *4*, на концах которых расположен дисковый нож *2* либо каток *3*, червячные рейки *7* сопряжены с червячными валами *8*, на которых выполнены углубления под ключ *9* (рис. 1, *б*) для регулировки высоты червячных реек *7*. Расширитель *5* выполнен в виде переднего *10* и заднего *11* корпусов, установленных на валу *12*, и по меньшей мере трёх лепестков *13*, *14*, *15*, каждый из которых соединён с зубчатой рейкой *16*, *17*, *18* (рис. 1, *в*) для возможности регулирования диаметра, зубчатые рейки *16*, *17*, *18* расположены внутри переднего корпуса *10*, а внутри заднего корпуса *11* установлены спиральный диск *19* и коническая шестерня *20*. В конической шестерне *20* выполнено углубление под ключ *21* для регулирования высоты зубчатых реек *16*, *17*, *18* с лепестками *13*, *14*, *15* и изменения диаметра, на внешней поверхности каждого лепестка выполнено по меньшей мере по одному отверстию для крепления с новым трубопроводом *22* [3].

Перед работой осуществляют регулировку положения вилок *4* и лепестков *13*, *14*, *15* расширителя *5*. Далее рабочий механизм заводят в старый трубопровод *23*, предварительно соединив с новым пластмассовым трубопроводом *22* и пропущенным через старый трубопровод *23* тяговым элементом *6* с гидродомкратом. При этом дисковый нож *2* устройства размещают в нижней части старого трубопровода *23*. После включения гидродомкрата он с помощью тягового элемента *6* начинает статически (безударно) затягивать труборазрушающий рабочий орган *1* с расширителем *5* и новым пластмассовым трубопроводом *22* в старый трубопровод *23*. Двигаясь вперед, труборазрушающий рабочий орган *1* разрезает старый трубопровод *23* дисковым ножом *2*, деформирует и вдавливает его расширителем *5* в грунт, одновременно затягивая новый пластмассовый трубопровод *22* по формируемой скважине.

Ниже приведен рис. 1, *б*, *в*, поясняющий первое устройство и работу механизма.

Второе техническое решение для бестраншейного ремонта подземных трубопроводов (рис. 2, *а*) состоит из соединённых друг с другом тягового элемента (троса) *1*, труборазрушаещего рабочего органа *2*, расширителя *3* и средства *4* для крепления нового трубопровода *5*. Труборазрушающий рабочий орган *2* (рис. 2, *б*) включает в себя разъёмный корпус *6*, в котором установлена вал-шестерня *7* и труба *8* с зубчатым колесом *9*. В трубе *8* выполнено сквозное осевое отверстие *10*, с концов которого выполнена левая *11* и правая резьба *12*. С обоих концов трубы установлены

вилки *13*, *14* с дисковыми ножами *15*, *16* для разрушения старого трубопровода *17*.

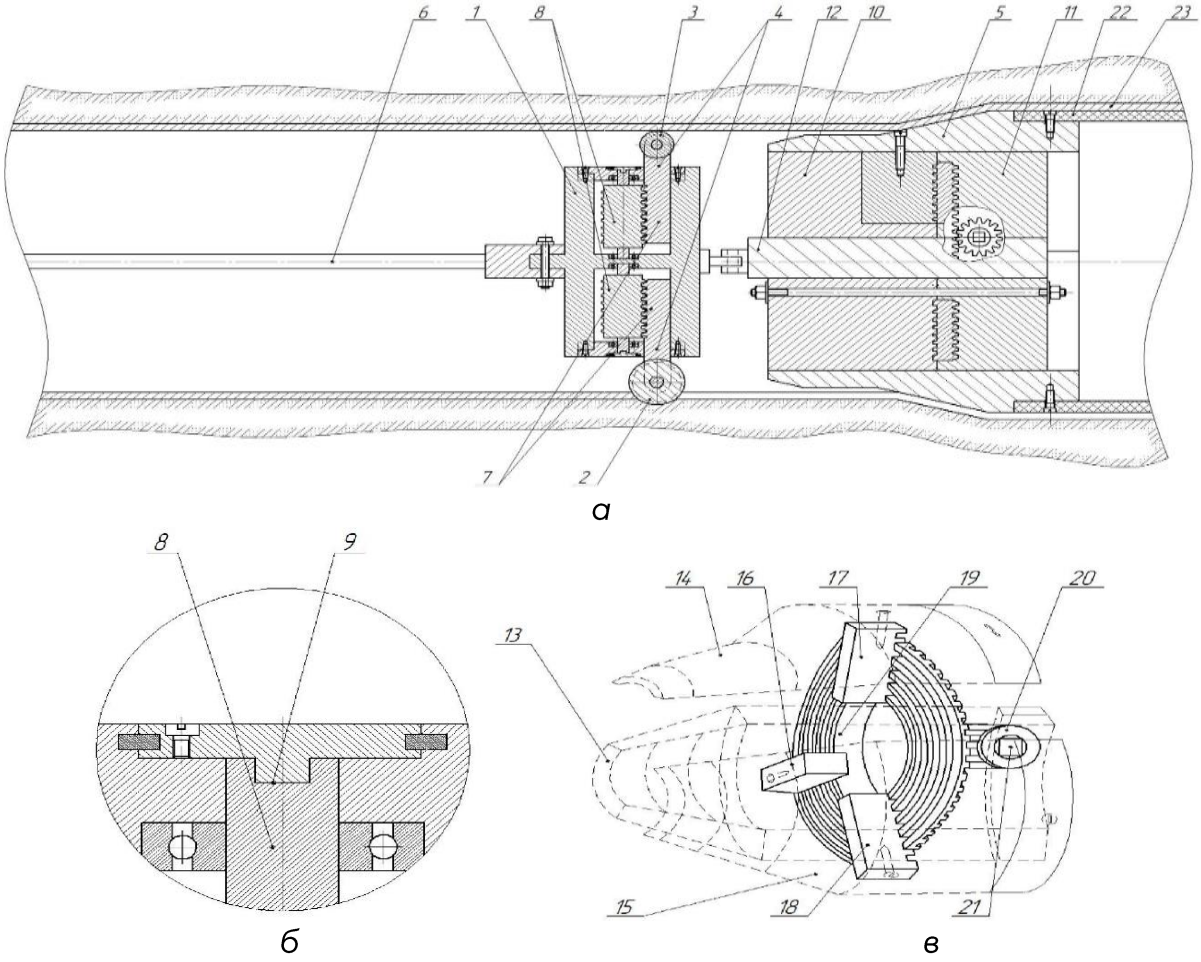


Рис. 1. Труборазрушающий рабочий орган с дисковым ножом: *а* – продольное сечение рабочего механизма; *б* – увеличенное изображение паза под ключ червячного вала; *в* – изометрия расширителя; *1* – рабочий орган; *2* – дисковый нож; *3* – опорный каток; *4* – вилки; *5* – расширитель; *6* – тяговый элемент; *7* – червячные рейки; *8* – червячные валы; *9* – углубление под ключ в червячном валу; *10* – передний корпус; *11* – задний корпус; *12* – вал; *13*, *14*, *15* – лепестки; *16*, *17*, *18* – зубчатые рейки; *19* – спиральный диск; *20* – коническая шестерня; *21* – углубление под ключ в конической шестерне; *22* – новый трубопровод; *23* – старый трубопровод

Для фиксации вала-шестерни *7* в фигурный паз *18* (рис. 2, *в*) установлена фиксирующая крышка *19*. Расширитель *3* состоит из двух частей усечённого конуса *20*, *21*, двух крышек *22*, *23* и вала *24*. С концов вала *24* выполнена левая резьба *25* и правая резьба *26*. На валу *24* установлен неподвижный элемент *27*, а на концах вала *24* с помощью резьбового соединения установлены подвижные элементы *28*, *29*, с которыми при помощи звеньев *30* соединены части усечённого конуса *20*, *21*. Средство *4* для крепления нового трубопровода *5* состоит из двух рычагов *31*, *32*, шпильки

33 и платформы *34* с проушинами. Для регулирования диаметра нового трубопровода *5* установлена шпилька *33*, на концах которой закручиваются гайки *35*, *36*.

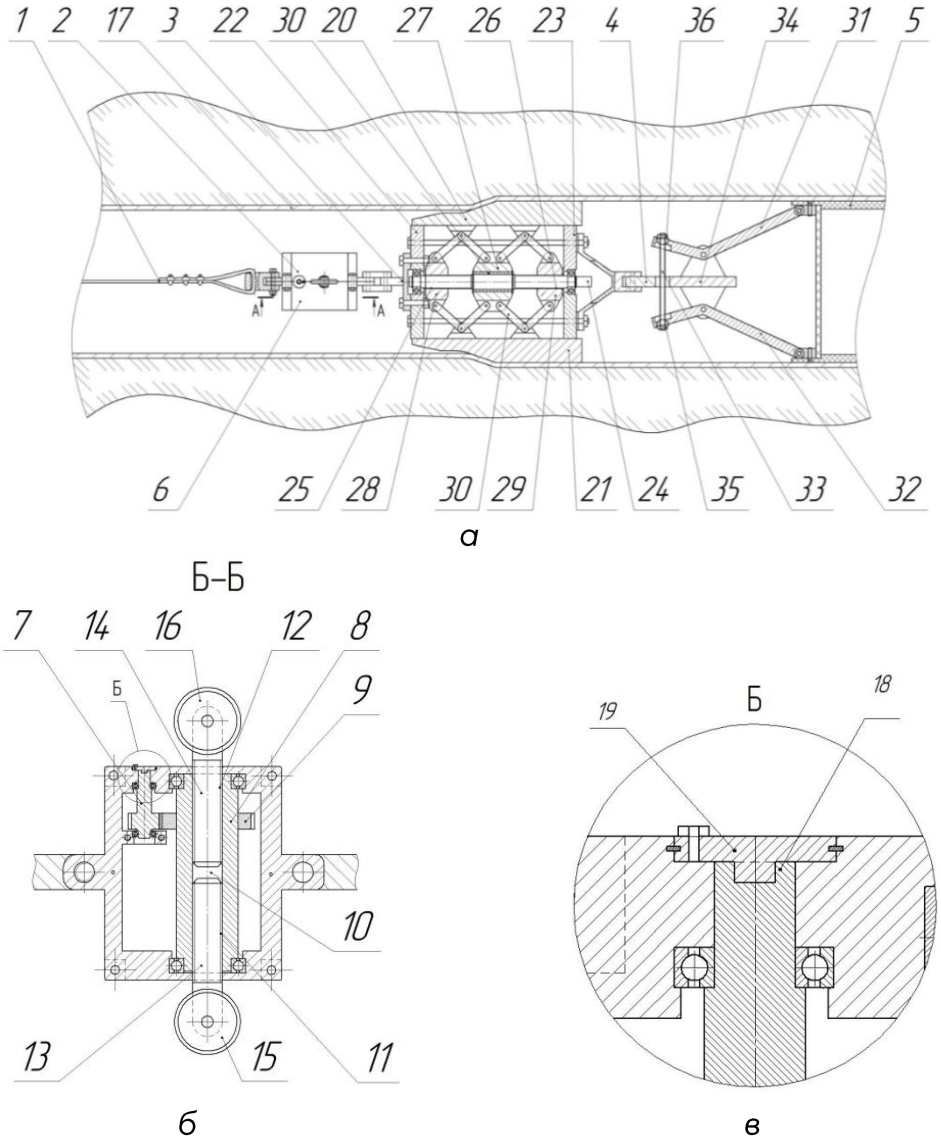


Рис. 2. Труборазрушающий рабочий орган с расширителем: *а* – продольное сечение второго рабочего механизма; *б* – продольное сечение режущей части; *в* – увеличенное изображение паза под ключ; *1* – трос; *2* – режущая часть; *3* – расширитель; *4* – средство для крепления нового трубопровода; *5* – новый трубопровод; *6* – разъёмный корпус; *7* – вал-шестерня; *8* – труба; *9* – зубчатое колесо; *10* – сквозное отверстие; *11, 12* – резьба; *13, 14* – вилки; *15, 16* – дисковые ножи; *17* – старый трубопровод; *18* – фигурный паз; *19* – фиксирующая крышка; *20, 21* – части конуса; *22, 23* – крышки, *24* – вал; *25, 26* – резьба; *27* – неподвижный элемент; *28, 29* – подвижные элементы; *30* – звенья; *31, 32* – рычаги; *33* – шпилька; *34* – платформа; *35, 36* – шпильки

Перед работой рабочего механизма осуществляют регулировку диаметров труборазрушающего рабочего органа *2*, расширителя *3* и средства

для крепления *4* нового трубопровода *5*. Изменение диаметра труборазрушающего рабочего органа *2* выполняется посредством вращения ключа, вставленного в фигурный паз *18* вала-шестерни *7*. Вращаясь, вал-шестерня *7* передаёт вращение на трубу *8* с вилками *13, 14* с дисковыми ножами *15, 16.* Изменение диаметра расширителя *3* выполняется за счёт вращения ключом вала *24*. Подвижные элементы *28, 29* либо удаляются друг от друга, либо приближаются друг к другу. При этом меняется угол наклона звеньев *30* и соответственно положение частей усечённого конуса *20, 21* расширителя *3*. Далее происходит ремонт, аналогично описанию в первом предлагаемом устройстве [4].

Приведенные рис. 1, *б, в*, поясняют второе устройство и работу механизма.

Исходя из описания и представленных выше рисунков, можно сделать вывод, что оба технических решения довольно похожи друг на друга, однако у каждого механизма есть свои достоинства и недостатки. В первом случае главным преимуществом выступает внушительная пара – червяк-червячная рейка, за счет которой можно будет использовать рабочий механизм для более толстостенных труб, подверженных замене. Во втором случае главное преимущество – возможность изменять диаметр протаскиваемого нового трубопровода одним комплектом, что ранее нигде не встречалось.

В результате проделанной работы получены следующие выводы:

1. Проведен патентный поиск по рабочим механизмам.

2. Разработано два рабочих механизма для бестраншейного ремонта трубопровода разных диаметров.

3. Поданы две заявки на изобретения РФ предлагаемых технических решений.

4. Разработаны сборочные и деталировочные чертежи устройств.

Список источников

1. Орлов В. А. Технологии бестраншейной прокладки и ремонта трубопроводов : учебник. М. : Изд-во МГСУ, 2012. 189 с.

2. Проектирование рабочих органов установок для бестраншейного ремонта стальных трубопроводов : метод. указания по курсовому и дипломному проектированию / сост. В. И. Емелин, А. А. Шайхадинов. Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2006. 16 с.

3. Комплект рабочих органов для бестраншейного ремонта трубопроводов разного диаметра. Ч. 1 / А. А. Шайхадинов, Л. М. Свитнева, А. В. Кушнаренко, С. А. Готовко // Механизация строительства. 2014. № 1. С. 3–7.

4. Комплект рабочих органов для бестраншейного ремонта трубопроводов разного диаметра. Ч. 2 / А. А. Шайхадинов, Л. М. Свитнева, А. В. Кушнаренко, С. А. Готовко // Механизация строительства. 2014. № 3. С. 14–17.

УДК 621.791

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДВУТАВРОВОЙ БАЛКИ С СИНУСОИДАЛЬНОЙ СТЕНКОЙ

И. К. Шустиков[1], А. И. Демченко[2], Д. А. Громов[3]

[1, 2, 3]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[2]ademchenko@sfu-kras.ru

Двутавровая балка с синусоидальной (гофрированной) стенкой – это конструкция, состоящая из поясов, имеющих сечение плоской формы, и тонкой стенки, которая в поперечном направлении изогнута (гофрирована). Данный вид балок используется в качестве балок-перекрытий в многоэтажных жилых домах, большепролетных балок покрытия в промышленных зданиях, элементов купольных конструкций в административных зданиях и т. д. [1]

Двутавровые балки с гофрированной стенкой в наше время получают всё большее и большее распространение, так как данный вид балок по сравнению со стандартной двутавровой балкой с плоской стенкой имеет ряд преимуществ: уменьшенная металлоемкость (до 30 %) при сохранении несущей способности за счет гофрированной стенки, лучшая эффективность при действии изгибающих нагрузок и др.

Для изготовления двутавровых балок с синусоидальной стенкой самыми распространенными технологиями являются роботизированная и механизированная сварка. Однако данные технологии имеют некоторые недостатки, такие как высокая стоимость роботизированных сварочных комплексов и низкая скорость производства балок механизированной сваркой, что делает ее экономически менее эффективной в условиях массового производства.

В настоящей работе представлена технология изготовления двутавровой балки с гофрированной стенкой, позволяющая использовать преимущества базовых технологий, а именно сохранить высокую скорость сварки при использовании недорогого универсального оборудования.

В качестве базовой технологии сварки выбрана сварка под слоем флюса с помощью подвесной головки. Разработана установка для сварки (рис. 1). Для автоматического вращения головки в процессе сварки использован поворотный электропривод 5, который расположен на оси подвеса

© Шустиков И. К., Демченко А. И., Громов Д. А., 2024

головки. Контроль положения головки относительно стыка производится при помощи лазерной системы слежения LS2D (*6*). В процессе сварки показатели расстояния, определенные системой слежения, подаются на ЭВМ, где происходит расчет отклонения головки. Далее ЭВМ, подключенная к выходам на серводвигателях установки, производит корректировку путем изменения скорости перемещения головки по осям. Данная система позволяет производить контроль и корректировку положения в автоматическом режиме, непосредственно в процессе сварки.

Для получения качественного шва необходимо обеспечить перпендикулярность головки относительно линии шва, как показано на рис. 2.

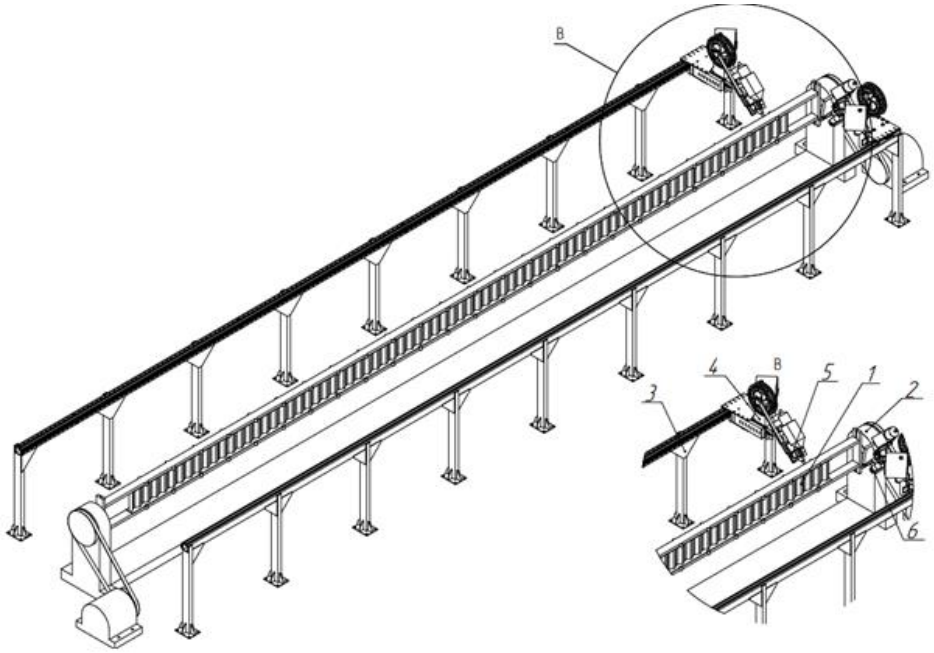


Рис. 1. Установка сварки двутавровых балок с синусоидальной стенкой:
1 – двутавровая балка с синусоидальной стенкой; *2* – сварочный вращатель с зажимами; *3* – рама установки; *4* – сварочная головка; *5* – электропривод вращения; *6* – система лазерного слежения за стыком

На рис. 2 приведены графики изменения скоростей перемещения/вращения в зависимости от участков гофрированной стенки. На приведенной схеме показаны точки перемещения головки. Точки П0, П1, П2, П3, П4, П5 являются границами участков № 1 – № 5. Участки № 1, № 3, № 5 – это участки прямолинейного движения, на которых движение происходит по осям *X* и *Y* (без вращения головки), соответственно на участках № 2 и № 4 задействован, помимо движения по осям *X* и *Y*, механизм вращения по оси *M*. На схеме включение поворотного механизма показано на точках П1-2 и П3-4. Точками П1.1 и П3.1 изображено изменение направления вращения головки. После прохождения сварки положение головки изменяется циклично, начиная с участка № 2.

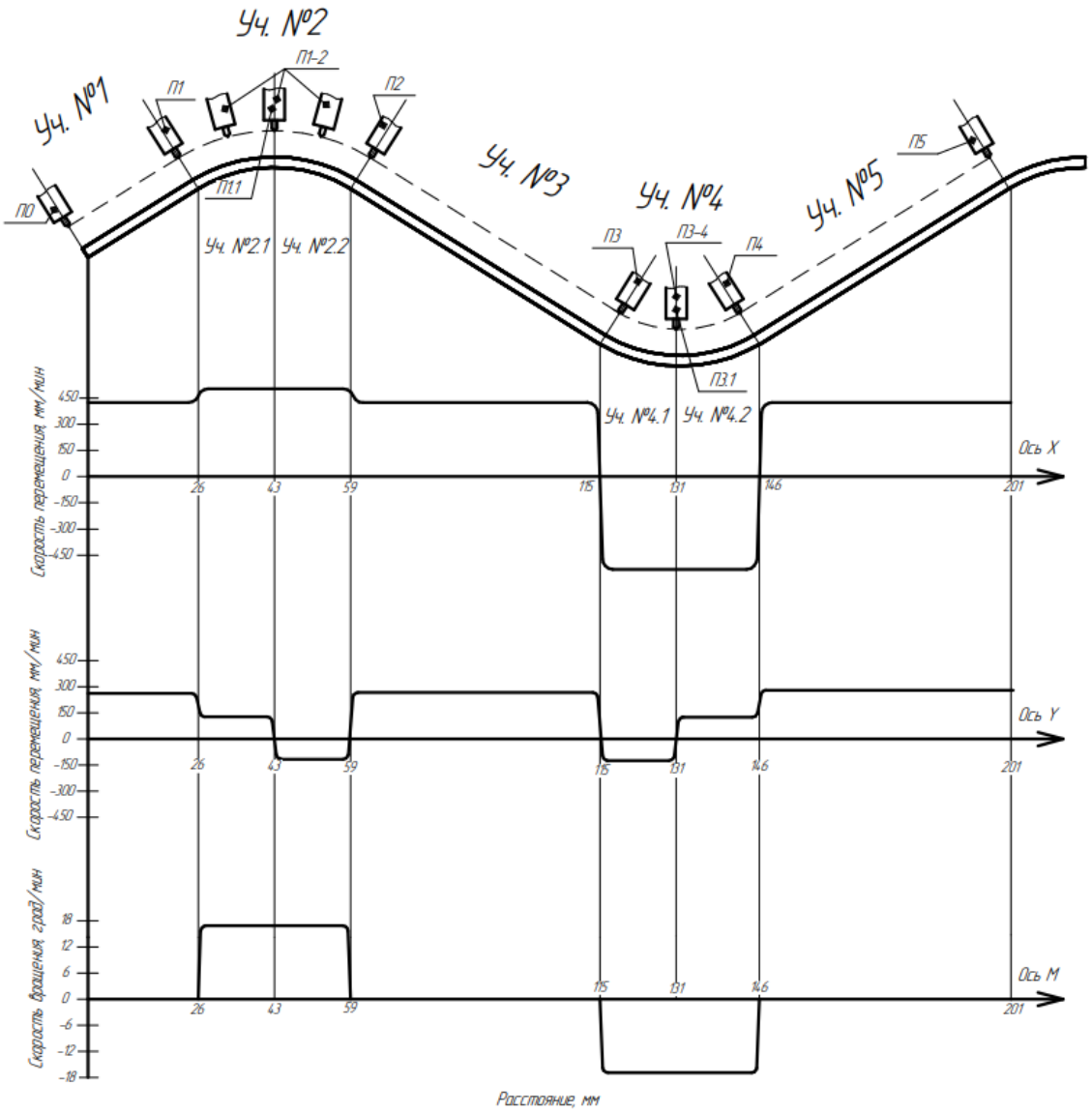


Рис. 2. График изменения скорости перемещения головки для $V_{СВ}$ = 500 мм/мин

Для обеспечения постоянной скорости сварки необходимо задать скорость перемещения головки по осям, которая изменяется в зависимости от положения головки на траектории движения. Произведены расчеты скоростей перемещения головки по осям *X* и *Y*, а также скорости вращения *M* для обеспечения постоянной скорости сварки ($V_{СВ}$ = const = 500 мм/мин).

Таким образом, в результате разработана технология и спроектирована сварочная установка для сварки двутавровых балок с гофрированной стенкой. Проведенный расчет технико-экономических данных показывает, что для выпуска балок из Ст3 длиной 12 м объемом 2 000 шт в год экономический эффект составит более 2 млн руб. в сравнении с применением механизированной сварки и около 4 млн руб. в сравнении с использованием роботизированных комплексов при прочих равных условиях.

Список источников

1. Кудрявцев С. В. Расчет двутавровой балки с гофрированной стенкой на изгиб в своей плоскости под действием статических нагрузок (Часть 1: Методика Расчета). ГОУ ВПО «Урал. Гос. Техн. Ун-т-УПИ». Екатеринбург, 2007. 17 с.: ил. Библиогр.: 20 назв. Рус. Деп. В ВИНИТИ 20.07.07, №749-В2007. С. 33–34.

2. Соловьев А. В., Лукин А. О., Алпатов В. Ю., Савостьянов В. Н. Учет особенностей работы балок с гофрированной стенкой в расчетах на стесненное кручение // Вестник МГСУ. 2012. № 11. С. 105–112.

3. Барановская С. Г. Прочность и устойчивость гофрированной стенки стальной двутавровой балки : автореф. дис. … канд. техн. наук. Новосибирск, 1990. С. 20.

4. Кудрявцев С. В. Расчет двутавровой балки с гофрированной стенкой на изгиб в своей плоскости под действием статических нагрузок (Часть 2: Методика Расчета). ГОУ ВПО «Урал. Гос. Техн. Ун-т-УПИ». Екатеринбург, 2007. 17 с.: ил. Библиогр.: 20 назв. Рус. Деп. В ВИНИТИ 20.07.07, №749-В2007. С. 250–258.

УДК 621.74

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Д. И. Ягодин, И. А. Чуруксаев, В. Г. Александрова, А. Е. Демиденко, К. А. Озол, Т. Р. Гильманшина[1], И. В. Дубова, А. А. Ковалева, Т. А. Богданова, Д. Ю. Крицкий

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1] tgilmanshina@sfu-kras.ru

Разделительные покрытия широко применяются в литейном производстве при получении изделий в металлических формах. Одним из основных свойств разделительных покрытий является их прочность на истирание.

В работах [1–3] описана методика определения прочности к истиранию литейных водных покрытий, суть которой заключается в следующем. Стеклянные пластины, используемые при анализе, предварительно тщательно моют теплой водой, высушивают в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С в течение 5–10 мин и охлаждают до (20 ± 3) °С. Микрометром измеряют толщину пластины не менее чем в трех точках с точностью до 0,01 мм и вычисляют среднее арифметическое значение толщины. Отмеряют 100 мл готового к использованию покрытия и выливают на стеклянную пластину, установленную под углом 45°. Излишки покрытия сливаются в подставленную под пластину чашу. Затем пластина переворачивается относительно оси перпендикулярной к ее плоскости на 180° и операцию повторяют, только выливают покрытие, собранное в чаше. После нанесения покрытия пластину устанавливают горизонтально (покрытием вверх) и помещают в таком положении в сушильный шкаф. В сушильном шкафу пластину выдерживают при температуре (150 ± 5) °С в течение 20 мин, затем извлекают и охлаждают в эксикаторе до температуры (20 ± 3) °С. После охлаждения микрометром измеряют толщину пластины с покрытием не менее чем в трех точках с точностью до 0,01 мм и вычисляют среднее арифметическое значение определений.

© Ягодин Д. И., Чуруксаев И. А., Александрова В. Г., Демиденко А. Е., Озол К. А., Гильманшина Т. Р., Дубова И. В., Ковалева А. А., Богданова Т. А., Крицкий Д. Ю., 2024

Пластину с покрытием помещают под выходным отверстием вискозиметра ВЗ-4 на матовое стекло покрытием вверх и закрепляют так, чтобы образец не сдвигался во время испытаний. Через вискозиметр на пластину ссыпают формовочный песок до тех пор, пока покрытие в месте удара песка не сотрется до стекла. Истирание прекращают, когда диаметр разрушенного участка покрытия будет 1,5–2,0 мм. Массу песка, прошедшего на истирание, взвешивают с точностью до 0,01 кг.

Существенным недостатком этой установки является отсутствие возможности испытаний прочности покрытий при высоких температурах, имитирующих реальные условия изготовления отливок.

Целью работы является разработка установки для исследования разделительных покрытий при высоких температурах.

В ходе работы была разработана установка (рис. 1), которая состоит из источника питания, электродов, нагревателя, выполненного из нихромовой проволоки, стального образца с отверстием под нагреватель, керамической трубки для электрической изоляции нагревателя, подставки под образец и стенда с воронкой и трубкой.

Принцип работы установки следующий. Для исследований берут образец, выполненный из металла, марка которого соответствует марке металла, из которого выполнена металлическая форма, используемая в реальном производстве. Поверхность образца должна быть чистой (не допускается наличие ржавчины и грязи). Перед использованием на поверхность образца наносят заданную шероховатость. Образец закрепляют таким образом, чтобы он не сдвигался во время испытаний. Источник питания подает ток на нагреватель, который передает тепловую энергию через керамическую трубку непосредственно образцу, в результате чего образец нагревается до заданной температуры.

Отмеряют 100 мл готового к использованию покрытия и наносят на поверхность нагретого образца пульверизатором.

После нанесения покрытия образец устанавливают под выходным отверстием трубки, через которую на образец ссыпают формовочный песок до тех пор, пока покрытие в месте удара песка не сотрется. Истирание прекращают, когда диаметр разрушенного участка покрытия будет 1,5–2,0 мм. Массу песка, пошедшего на истирание, взвешивают с точностью до 0,01 кг. Испытания проводят при включенной установке, чтобы температура образца во время испытаний оставалась на уровне 400–450 °С.

Основное преимущество данной установки – возможность исследования прочностных свойств разделительных покрытий при высоких температурах (до 500 °С).

К недостатку предложенной установки можно отнести то, что образец нагревается в течение очень длительного времени (более 3 ч, рис. 2).

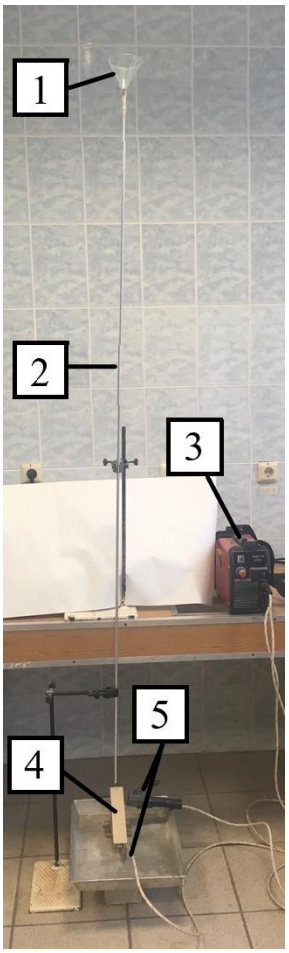


Рис. 1. Установка для испытания разделительных покрытий:
1 – воронка для песка; *2* – трубка; *3* – источник питания;
4 –образец; *5* – электроды

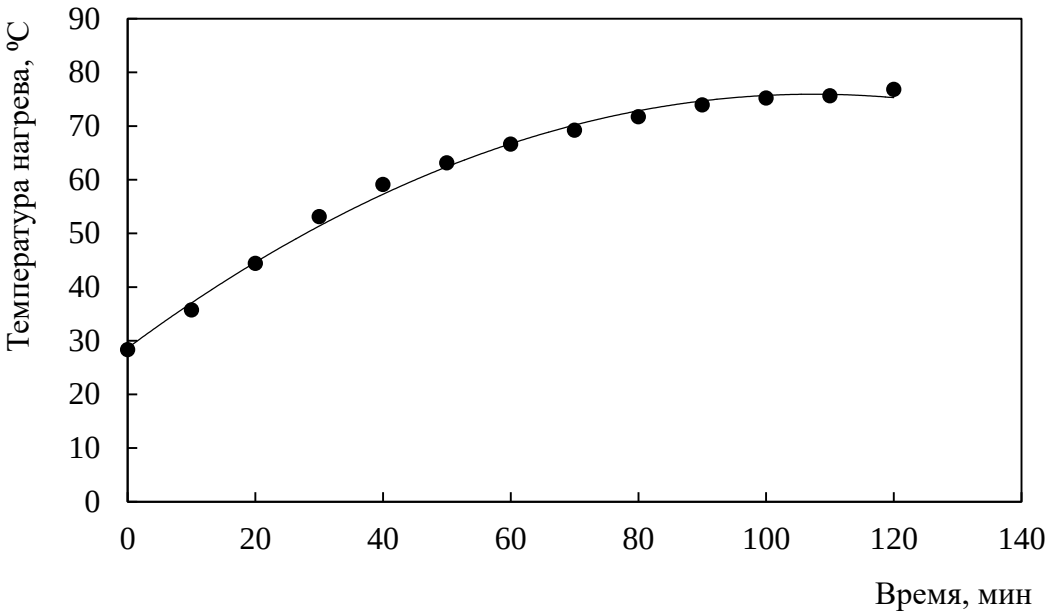


Рис. 2. Зависимость температуры образца от времени его нагрева

Поэтому было принято решение изменить технологию подогрева образца. С этой целью была предложена установка, показанная на рис. 3, 4. Установка представляет собой две нагревательные керамические пластины, расположенные перпендикулярно друг к другу. Внутри керамических пластин по всему их сечению проходит витая нихромовая проволока.



Рис. 3. Установка для нагрева



Рис. 4. Установка для нагрева с установленным образцом

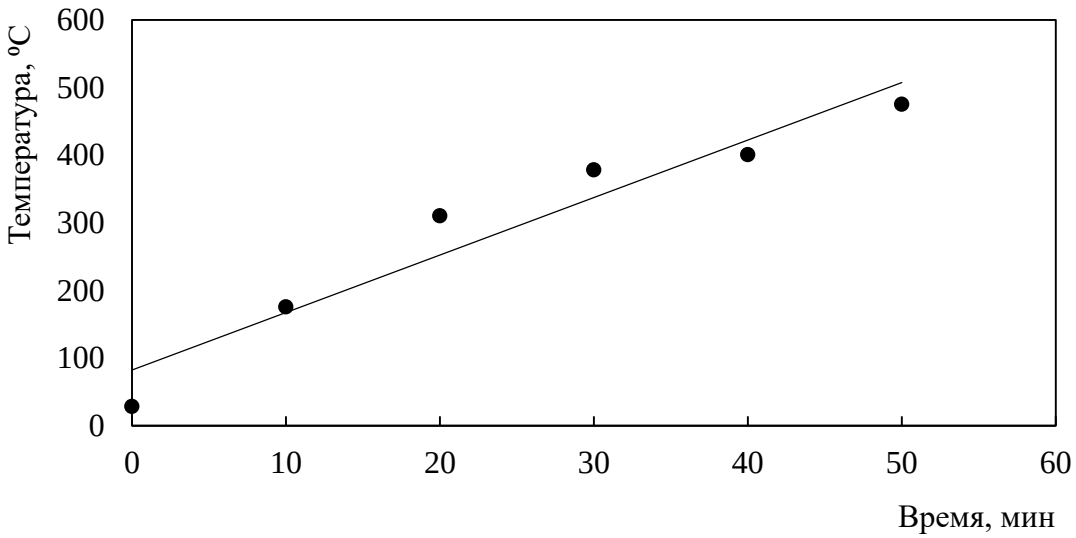


Рис. 5. Зависимость температуры образца от времени его нагрева

Таким образом, разработанная установка позволяет за 50 мин нагревать образец до температуры 475 °С, которая совпадает с температурой нанесения разделительных покрытий на поверхность металлической формы в реальных производственных условиях.

Список источников

1. ГОСТ 10772–78. Покрытия литейные противопригарные водные. Общие технические условия.

2. Сварика А. А. Покрытия литейных форм. М. : Машиностроение, 1977. 216 с.

3. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия / А. Н. Болдин, Н. И. Давыдов, С. С. Жуковский [и др.]. М. : Машиностроение, 2006. 507 с.

Секция 3

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТА

УДК 625.76.08

МОДЕРНИЗАЦИЯ СТЕНДА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АБРАЗИВОСТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ

Р. М. Авдеев[1], Д. С. Игнатьев[2], К. И. Ковалевский[3]

[1, 2, 3]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[2]mr.outlander99@mail.ru

Абразивоструйная очистка является одним из перспективных способов для удаления стекловидных образований льда с поверхности дорожного полотна.

Для более глубокого исследования вышеуказанного способа возникла необходимость в проведении практических экспериментов, для проведения и обоснования которых были сформулированы задачи методического обеспечения экспериментальных исследований. Одна из первостепенных и ключевых задач – спроектировать и изготовить экспериментальный стенд, которой бы позволял осуществлять практические исследования в области абразивоструйной очистки.

Для удовлетворения всех особенностей проведения экспериментов конструкция стенда должна обеспечивать:

1) простоту и дешевизну изготовления;

2) возможность сборки и разборки без применения специальных средств;

3) возможность изменения расстояния от сопла абразивоструйного пистолета до обрабатываемой поверхности;

4) возможность быстрой смены сектора обрабатываемой поверхности;

5) компактность с целью транспортировки;

6) безопасность проведения экспериментов.

В результате был изготовлен стенд, отвечающий всем необходимым требованиям. Получившийся стенд (рис. 1) состоит из нижней рамы *3*, верхней подвижной рамы *1*, каретки *5*, аброзивоструйного пистолета *4* и поддона для льда *2*. Верхняя рама может перемещаться по направляющим вертикально, каретка имеет возможность двигаться по нижней раме. Принцип работы стенда заключается в следующем: на каретку в специальное крепление устанавливается абразивоструйный пистолет и подключает-

© Авдеев Р. М., Игнатьев Д. С., Ковалевский К. И., 2024

ся к компрессору для подачи сжатого воздуха; в верхнюю подвижную раму вставляется поддон со льдом и фиксируется относительно пистолета в зависимости от того, какой сектор поддона необходимо очистить ото льда; затем производится проверка и включение компрессора, после чего приводится в действие абразивоструйный пистолет; струя воздуха с абразивными частицами выходит и воздействует на слой льда, происходит удаление его с поверхности поддона. Работа пистолета продолжается до момента визуального наблюдения металлического блеска на поддоне со льдом, означающего, что слой льда удален.

С помощью предлагаемого стенда можно изменять и замерять расстояние от сопла абразивоструйного пистолета до поддона со слоем льда, замерять время и размер пятна контакта очищенного сектора.

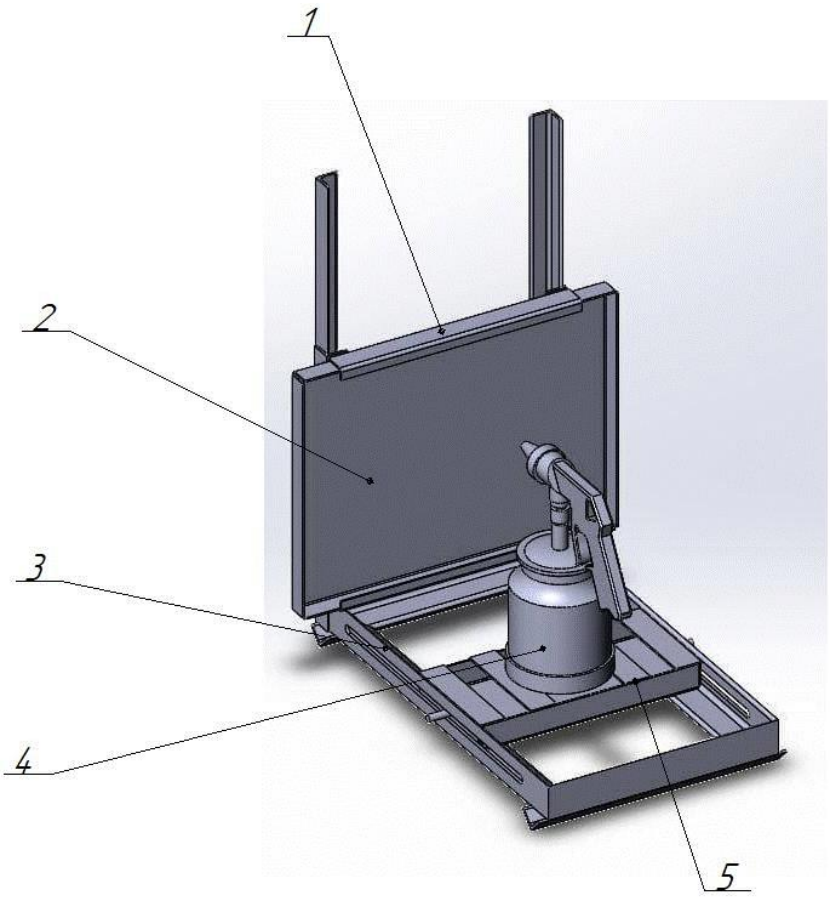


Рис. 1. Стенд для экспериментальных исследований:
1 – верхняя подвижная рама; *2* – поддон для льда; *3* – нижняя рама;
4 – абразивоструйный пистолет; *5* – каретка

В ходе проведения экспериментов был выявлен ряд недостатков, которые имеет изготовленный стенд: 1) короткие направляющие, которые не позволяют отдалить абразивоструйный пистолет от обрабатываемой поверхности более чем на 30 см; 2) невозможность непрерывного перемеще-

ния каретки; 3) низкий объем вместительности бака для абразива; 4) возможность работы только в одной плоскости.

Данные недостатки выявили необходимость модернизации ранее изготовленного стенда. В частности, были сделаны следующие усовершенствования: 1) увеличенная длина направляющих, позволяющая отдалять абразивоструйный пистолет на расстояние до 1,5 м; 2) каретка имеет колеса, который дает возможность непрерывного перемещения ее относительно поддона; 3) увеличенный объем бака для абразива, который стал вмещать 10 кг абразивного материала вместо 1 кг ранее; 4) конструкция крепления абразивоструйного пистолета позволяет работать в двух плоскостях.

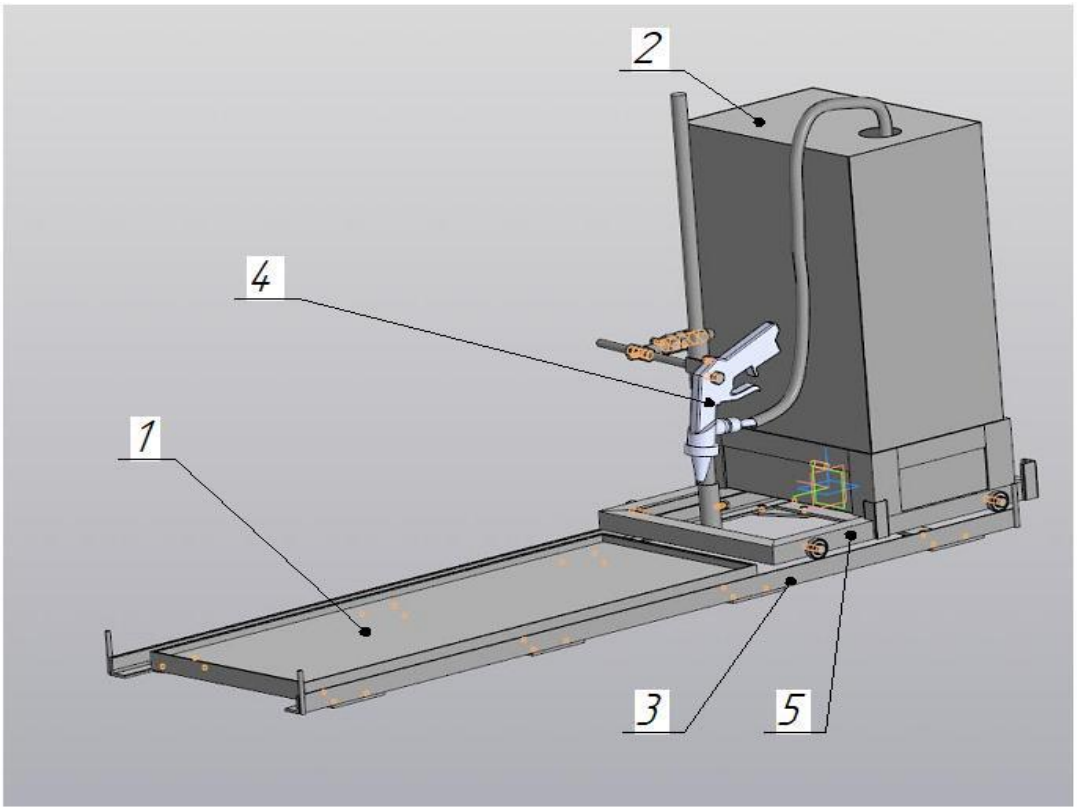


Рис. 2. Модернизированный стенд для экспериментальных исследований:
1 – поддон со льдом; *2* – бак с абразивным материалом; *3* – нижняя рама;
4 – абразивоструйный пистолет; *5* – подвижная каретка

Таким образом, в результате модернизации стенда в ходе проведения экспериментальных исследований по изучению способа абразивоструйной очистки поверхности дорожного полотна от стекловидных образований льда удалость выйти на исследования целого ряда новых зависимостей ключевых параметров экспериментов:

1) зависимость времени обработки от угла наклона абразивоструйного пистолета;

2) зависимость размера пятна обработки от угла наклона абразивоструйного пистолета;

3) зависимость времени обработки от скорости перемещения абразивоструйного пистолета;

4) зависимость размера пятна контакта от скорости перемещения абразивоструйного пистолета;

5) зависимость расхода абразивного материала от угла наклона абразивоструйного пистолета;

6) зависимость расхода от скорости перемещения абразивоструйного пистолета;

Список источников

1. Машины для содержания городских и автомобильных дорог. Кн. 2. Содержание дорог в зимний период : учеб. пособие для вузов / В. И. Баловнев, Р. Г. Данилов, А. Г. Савельев, под общ. ред. В. И. Баловнева. 3-е изд., доп. и перераб. М. : ТЕХПОЛИГРАФЦЕНТР, 2013. 343 с.

2. Козлов Д. Ю. Бластинг. Гид по высокоэффективной абразивоструйной очистке. М., 2015. 230 с.

3. ГОСТ 33181–2014. Дороги автомобильные общего пользования. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к уровню зимнего содержания. Введ. 01.12.2015. М. : Стандартиформ, 2019. 24 с.

4. Козлов Д. Ю. Основы струйной очистки. М., 2017. 104 с.

УДК 656.13

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АВТОМОБИЛИЗАЦИИ С ПРИРОДОЙ И ОБЩЕСТВОМ

Е. С. Воеводин[1], К. А. Акулов[2]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[2]akulov-kostya@mail.ru

Совокупность всех видов негативного воздействия объекта на окружающую среду при реализации жизненного цикла, то есть экологический баланс является одним из значимых показателей при оценке воздействия автотранспорта на окружающую среду [5]. Количественная оценка экологического баланса важна для определения значимости различных мероприятий по совершенствованию конструкций объектов транспортной техники.

Последние десятилетия во всем мире отличаются небывалой динамичностью научно-технического развития. Научные открытия, современная техника и технология имеют интернациональный характер и быстро распространяются по всем регионам нашей планеты. Постоянно возрастающее ускорение совершенствования производительных сил, научно-технических возможностей вызывает глубокие преобразования и изменения, затрагивающие самые различные стороны жизни общества. Автомобильный транспорт не является исключением.

Изучение негативных последствий развития автотранспортного комплекса (АТК) позволяет определить два пути воздействия автомобильного транспорта на природную среду с учетом его недостаточно высокого уровня эколого-технологического совершенства. Во-первых, автотранспорт потребляет значительное количество природных материалов, сырья и, прежде всего, невозобновляемых и дефицитных энергоносителей (например, таких как нефть), а во-вторых, загрязняет окружающую среду.

Действительно, каждый автомобиль является крупным потребителем природных ресурсов и биосферозагрязнителем. За амортизационный срок службы среднестатистический грузовой автомобиль дает около 450 т отходов. На производство бензина, масел, автошин и других материалов, необходимых на период эксплуатации автомобиля до списания, требуется переработать более 8 645 т природных веществ [6].

© Воеводин Е. С., Акулов К. А., 2024

Более подробный анализ полного жизненного цикла автомобиля показывает, что оба отмеченные основные направления образуют ряд групп негативно воздействующих факторов.

Первая группа связана с производством автомобилей: высокая ресурсно-сырьевая и энергетическая емкость автомобильной промышленности, негативное воздействие на окружающую среду автомобильной промышленности (литейное, инструментально-механическое, лакокрасочное производство, стендовые испытания, производство шин и др.).

Вторая группа обусловлена эксплуатацией автомобилей, потреблением топлива и воздуха, выделением вредных выхлопных газов, рассеиванием в природе продуктов истирания шин, материалов, тормозов и сцепления, шумовым загрязнением окружающей среды. Транспортный шум и вибрация, уровень которых непрерывно возрастает и, прежде всего, в больших городах и районах массового автомобильного движения. Транспортный шум является источником постоянного звукового дискомфорта для большинства населения мегаполисов.

Формирование автомобильности как особой культуры повседневности, предполагающей использование транспортных средств и сопутствующих элементов инфраструктуры, товаров и услуг, оказывается важным элементом реструктуризации повседневной жизни и социальных связей в соответствии с новыми ритмами рабочего и свободного времени. Участвуя в процессах социальных изменений на уровне межличностных отношений, автомобиль выступает инструментом пространственно-временного расширения и одновременно ограничения возможностей человека. Будучи важной частью эпохи современности, автомобиль является предметом потребления, объектом приложения сил различных профессиональных групп, фактором риска, знаком достижения или упадка. Маркируя социальный статус своего владельца, личное транспортное средство выступает предметом статусного потребления и средством самовыражения. Наряду с целым комплексом объективных и субъективных параметров проявляются стилевые особенности потребления, факторы которого напрямую связаны с механизмами идентификации и опосредованы различными видами ресурсов, находящихся в распоряжении индивидов и групп [4].

Однако любому позитивному процессу сопутствуют и негативные явления. Одним из таких последствий прогресса науки и техники стало обострение противоречий, возникающих между необходимостью охраны природы и интенсивным использованием ее ресурсов. Реализация научно-технических достижений в различных областях человеческой деятельности сопровождается потреблением природных ресурсов и образованием значительного количества промышленных и бытовых отходов. Количественная и качественная исчерпаемость природных ресурсов и ограниченная способность природных комплексов к самоочищению уже привели в ряде ин-

дустриальных регионов к резкому ухудшению условий существования живых организмов, человека.

Специфика взаимодействия человека с окружающей средой заключается в том, что в отличие от всех других организмов его жизнедеятельность определяется действием не только биологических, но и социальных факторов.

Человек действует на природу в процессе целесообразной трудовой деятельности, регулируя и контролируя обмен веществ между обществом и природой, заставляя ее служить своим целям. Именно это положение ограничивает возможность чисто биологического экологического подхода при объяснении условий существования человека.

Автомобильный транспорт является одним из основных технологических прорывов, позволяющие человеку существовать и развиваться во всех социальных отношениях.

В нашей стране автомобильный транспорт относится к числу источников неблагоприятного воздействия на окружающую среду. На его долю в отдельных регионах страны приходится 30–40 % от общего выброса загрязняющих веществ в атмосферу.

Механизм воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду имеет ряд специфических особенностей по сравнению с многими отраслями промышленности. К таким особенностям относятся:

1) массовость и постоянно растущие темпы процесса автомобилизации;

2) широкий спектр отрицательных явлений, сопровождающих процесс развития автомобилизации;

3) низкие удельные показатели экологической безопасности транспортных средств на единицу выполненной транспортной работы;

4) сложности значительного улучшения показателей экологической безопасности в ближайшей перспективе;

5) концентрация большого количества транспортных средств на сравнительно ограниченной территории и массовое проникновение в зоны жилой застройки, трудность локализации неблагоприятных последствий;

6) хроническое отставание темпов развития дорожной сети от темпов автомобилизации;

7) практически неизменная технология транспортного процесса.

Сочетание этих факторов в определенных условиях и регионах приводит по отдельным параметрам к доминирующему воздействию автомобильного транспорта на окружающую среду.

В настоящее время автомобильные эксперты изучают различные аспекты проблемы: техническая эксплуатация транспортных средств, дорожное строительство и городское планирование дорожного движения, организация дорожного транспорта, организация дорожного движения. Это

привело к созданию множества независимых областей, которые часто являются разрозненными и узкоспециализированными, чтобы ограничить негативные последствия автомобилизации. Наилучшее решение этой проблемы можно найти только принимая во внимание все соответствующие факторы, определяющие степень воздействия дорожного движения на окружающую среду.

Во всех экономически развитых странах мира автомобильный транспорт по объему перевозок занимает ведущее место; в большинстве стран он также лидирует и по транспортной работе. Автомобильный парк мира непрерывно увеличивается и в 2021 г., по данным The INRIX 2016 Global Traffic Scorecard [1] и TomTomIndex [2], превысил отметку в 1,2 млрд. единиц. Однако при таком значительном увеличении масштабов и росте темпов автомобилизации возникает ряд серьезных проблем, связанных с вредными для окружающей среды и общества последствиями, которые сопровождают этот процесс.

Многогранность автомобилизации как сложной социально-технико-экономической системы определяет многосторонность ее взаимных связей с окружающей средой. Подход современной науки к общим проблемам отношений человека и природы позволил классифицировать эти связи, выявив три направления: потребление ресурсов, загрязнение окружающей среды и негативные социальные последствия [3].

Список источников

1. Global traffic scorecard. URL: https://inrix.com/resources/inrix-2016-global-traffic-scorecard.

2. Commuting costs and travel times in 2022. URL: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index.

3. Жданов В. Л., Григорьева Е. А. Экологические проблемы автомобильного транспорта : учеб. пособие. Кемерово, 2013. 180 с. URL: https://e.lanbook.com/book/69429 (дата обращения: 06.05.2022).

4. Кононенко Р. В. Автомобилизация российского общества: социокультурные аспекты. URL: https://www.dissercat.com/content/avtomobilizatsiya-rossiiskogo-obshchestva-sotsiokulturnye-aspekty.

5. Покровский А. Н., Ивахненко А. М., Неретин А. А. Управление системами «человек – машина» : учеб. пособие. М. : МАДИ, 2013. 192 с.

6. Бажанов А. А. Социально-экономические аспекты влияния автотранспортного комплекса на окружающую среду и здоровье населения : автореф. дис. … канд. социол. наук. М., 2008.

7. Надуда А. О. Оценка интенсивности транзитного автотранспортного потока через г. Керчь. URL: https://interactive-plus.ru/e-articles/412/Action412-461958.pdf.

УДК 656.13

ВЫБОР МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНОСА ШИН

Е. С. Воеводин[1], К. А. Акулов[2], Е. А. Морозова[3]

[1, 2, 3]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[2]akulov-kostya@mail.ru

Шины – одна из дорогостоящих частей автомобиля, которые влияют на безопасность движения и расход топлива. Повышение технического ресурса шин является научно-практической задачей, которая направлена на повышение безопасности движения автомобилей и снижение затрат топлива. Такое улучшение также даст возможность получить экономический эффект для совершенствования материально-технической базы автотранспортного предприятия.

Чтобы определить скорость износа протектора шины, необходимо выбрать лучший метод измерения. В настоящее время существует множество методов оценки остаточной глубины протектора: методы с использованием радиоактивных изотопов; гравиметрические методы; установка индикаторов износа на шины; методы ручного грунтования, с использованием краски и глубиномеров. Наиболее точным методом измерения является радиоактивный метод.

Наиболее точным методом измерения является радиоактивный метод. Перед испытаниями под поверхность протектора вводятся точечные радиоактивные источники. При износе глубина заделки источника уменьшается, интенсивность излучения, замеряемая на поверхности протектора, увеличивается. Износ определяется по показаниям приборов, регистрирующих интенсивность излучения. Погрешность измерения 0,01–0,02 мм [4]. Другой радиоактивный метод определения износа впервые был применен в США [5]. Радиоактивный изотоп Р32 вводится в протектор при изготовлении шины. Износ измеряется по радиоактивности следа, оставленного шиной на дороге. Этот метод давал возможность выявлять качественное влияние различных факторов на износ, но не позволял количественно оценить износ шин [2]

В Чехии был разработан способ измерения износа, основанный на поглощении резиной радиоактивного излучения, при этом методе резиновые шайбы с иодидом талия 204 вводятся в надрезы, сделанные в элементах рисунка протектора. При износе протектора толщина поглощающе-

© Воеводин Е. С., Акулов К. А., Морозова Е. А., 2024

го слоя резины и интенсивность излучения уменьшается, а излучение на поверхности шины увеличивается. Если известна поглощающая характеристика резины, то можно по изменению числа импульсов определить с высокой точностью изменение толщины поглощающего слоя и, следовательно, износ протектора. Способ позволяет определить износ в заданной точке протектора с точностью 0,01–0,02 мм. Недостатком этого метода можно назвать низкую надежность и высокую сложность способа [5].

В России разработан метод, лишенный этих недостатков [6]. Источники излучения, изготовленные на основе радиоактивного талия, в виде металлической проволоки диаметром 0,3 мм, вводятся специальным приспособлением в различные места протектора на глубину 1,5 мм. Измеряя активность проникающего излучения, можно судить об износе слоя резины над источником. После износа порядка 1 мм источник удаляется из протектора и в соседнюю шашку протектора помещается новый источник [2].

Методы на основе радиоактивных веществ не получили широкого распространения в АТП, несмотря на свою высокую точность, так как требуют специальных правил обращения с радиоактивными веществами и являются трудновыполнимыми. А используемая аппаратура сложна и громоздка, также велика трудоемкость измерения. Поэтому использование этого метода больше оправдано в специализированных лабораториях.

Весовой метод получил достаточно широкое распространение в тех случаях, когда нужно получить точные значение износа, ведь данный метод значительно проще радиоактивного метода, но имеет приближенную к нему точность. Погрешность при взвешивании определяется весами. Сущность метода заключается в том, что шина взвешивается до и после испытаний, но перед взвешиванием шину необходимо тщательно отмыть от грязи и высушить [4]. Данный метод, опять же, больше подходит для специализированных лабораторий, так как трудоемкость подготовки к измерениям достаточно высока.

Метод определения износа с помощью укрепленных к протектору пластин разработан Н. М. Кислициным [3], принципиальная схема данного метода представлена на рис. 1. В протекторе *1* шины к пластине *3* прикреплена вставка *4*, взаимодействующая с поверхностью *2* дороги. По мере качения колеса изнашивается пластина вставки, закрепленная на протекторе посредством заостренных штифтов *5*. Степень износа пластины пропорциональна степени износа соответствующей части шины. После тысяч километров эксплуатации вставку снимают с помощью плоскогубцев для оценки степени износа, например, путем взвешивания или измерения толщины пластины [4].

Метод резки искусственной подложки, или контактный метод, предполагает выполнение цилиндрических канавок в канавках рисунка протектора шины – искусственной подложки – и измерение глубины рисунка протектора в лабораторных условиях с помощью специального прибора [4].

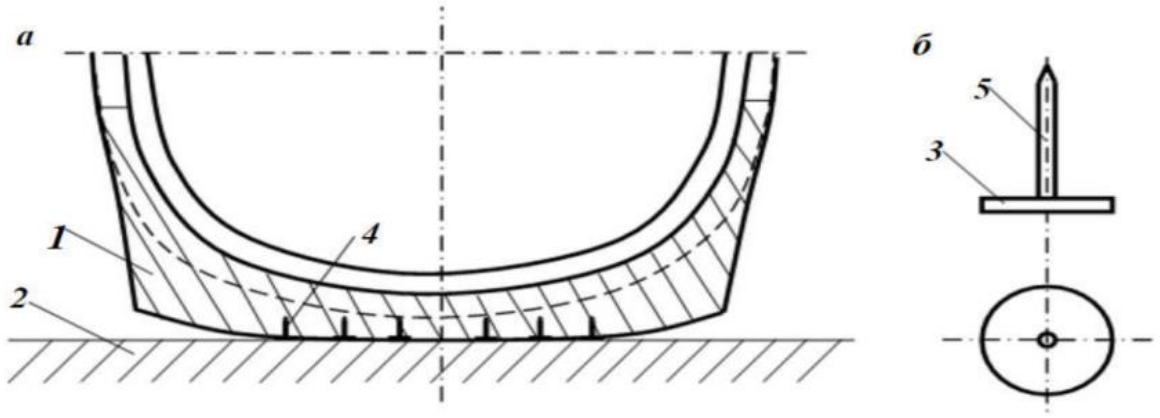


Рис. 1. Схема определения износа шин с помощью укрепленных к протектору пластин: *а* – схема установки вставок в протекторе шины; *б* – вставка

Метод определения износа с помощью краски. На беговую дорожку шины специальной краской наносят кружки диаметром 6 мм, по стиранию которых судят об износе протектора. К недостаткам можно отнести необходимость предварительной окраски и сушки шин в лабораторных условиях, визуальная оценка степени стирания краски из-за невозможности определения толщины слоя краски [4]. Измерение износа с помощью глубиномера получил наибольше распространение из-за высокой производительности измерений и отсутствия каких-либо трудоемких подготовок к измерениям [7]. Глубиномером измеряется высота рисунка протектора относительно его канавки в одних и тех же местах. Способ не требует специальной подготовки шин, инструмент для измерения весьма прост. Вместо глубиномера может использоваться штангельциркуль, в таком случае погрешность измерений составит около 0,4 мм. К недостатку метода можно отнести невысокую точность измерения из-за отсутствия фиксированных точек измерений и трудностям при установке инструмента вертикально к поверхности шины [4]. Погрешность измерений можно снизить, проводя измерения в одних и тех же фиксированных точках, а также увеличением количества замеров с определением среднего износа по шине.

Проведенный выше анализ методов измерений интенсивности износа показал, что существует множество методов измерений остаточной глубины протектора, однако каждый из методов обладает как рядом преимуществ, так и рядом недостатков. Так, большинство методов имеют одинаковый недостаток – необходимость в дорогом и громоздком оборудовании, а также высокую трудоемкость измерений, но все эти методы дают более точные результаты. Для большого числа транспортных средств целесообразнее использовать метод измерения, имеющий высокую производительность, этим требованиям удовлетворяет метод измерений с использованием цифрового глубиномера. Для проведения измерений был выбран циф-

ровой глубиномер с погрешность 0,01 мм, что является вполне достаточной точностью для измерений. Общий вид цифрового глубиномера представлен на рис. 2.



Рис. 2. Цифровой глубиномер

Однако точность измерения цифровым глубиномером может иметь случайную ошибку, допущенную экспериментатором. Для уменьшения вероятности ошибки необходимо увеличить количество измерений, причем измерения необходимо проводить в строго определенных точках. Согласно [1], высоту рисунка протектора измеряют не менее чем в четырех сечениях по окружности шины. Первое сечение шины намечают в месте одной из маркировок шины, остальные – равномерно по окружности по часовой стрелке. В каждом сечении по ширине беговой дорожки в зависимости от конфигурации рисунка протектора выбирают не менее двух мест измерения центральной части беговой дорожки и не менее двух по краям. Для протектора, имеющего по центру канавку, измерения проводят по этой канавке. Если рисунок протектора имеет по центру ребра или выступы, его высоту измеряют в двух канавках справа и слева от выступа.

При протекторе, образованном двумя беговыми дорожками, измерения проводят в середине каждой беговой дорожки. Места измерения по краям беговой дорожки должны обеспечивать охват центральной зоны, ровной трем четвертям ее ширины. Рахимовым Р. Х. [6] разработана специальная методика измерения, в процессе разработки которой доказана достаточность измерений глубины протектора в двух диаметрально противоположных точках, одна из которых находится против заводского номера шины по центру протектора. Среднеарифметическое значение глубины протектора, полученное в результате замеров в двух точках, служит ис-

ходной информацией для определения величины интенсивности износа шин.

Данная методика, имея практически такие же значения оценочных показателей, что и по 12 или 16 точкам, более простая и технологичная, требует меньших трудозатрат на измерения [2]. Разнообразие методик измерения интенсивности износа автомобильных шин позволяет получить более точные данные для проведения расчетов. Исходя из описанного выше, наименее трудо- и времязатратным является метод измерений с использованием цифрового глубиномера.

Список источников

1. Государственный стандарт союза ССР шины пневматические Методы определения износостойкости шин при дорожных испытаниях.

2. Касаткина Э. Ф. Разработка и исследование системы автоматизированного учета и управления затратами на шины : дис. канд. техн. наук: 05.22.10: защищена 28.03.00 / Касаткина Элла Феликсовна. Владимир, 2000. 175 с.

3. Кислицин Н. М. Долговечность автомобильных шин в различных режимах давления. Н. Новгород : Волго-Вятское кн. изд-во, 1992. 232 с.

4. Кузьмин Н. А., Борисов Г. В. Закономерности изменения работоспособности автомобилей: учеб. пособие. Н. Новгород, 2014. 249 с.

5. Слюсарнеко А. М. Новый метод измерения износа протектора шин с применением радиоактивных веществ. М., 1969. 248 с.

6. Рахимов Р. Х. Разработка системы оперативного управления ресурсом в эксплуатации : дис. … канд. техн. наук. М., 1982.

7. Горшкова Н. Г., Журавлев А. С. Влияние шипованных шин на износ покрытия // Наукоемкие технологии и инновации (XXII научные чтения). 6–7 октября 2016. Белгород. С. 61–64.

УДК 656.13

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ СЕТИ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ В КРАСНОЯРСКЕ

Е. С. Воеводин[1], А. А. Бакланов[2]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[2]ander_vot@mail.ru

Распространение электромобилей идет быстрыми темпами. В 2018 г. было продано уже более 2 млн электромобилей, а прогноз на 2025 г. предполагает продажу 10 млн электромобилей. Ожидается, что к 2040 г. 57 % всех продаж легковых автомобилей и более 30 % мирового парка легковых автомобилей будут электрическими. В феврале 2023 г. в Красноярском крае было зарегистрировано более 500 электромобилей [1].

На данный момент для обслуживания такого количества ТС в Красноярске создана сеть станций для зарядки электротранспорта. Всего по городу эксплуатируется 86 электрозаправочных станций (рис. 1) четырех компаний, наибольшее количество зарядных станций у «РСК Сети» [2]. Таким образом на данный момент на одну зарядную станцию приходится около шести автомобилей.

Наиболее развита сеть станций для зарядки электротранспорта в Советском районе, где сосредоточено наибольшее количество офисных и торговых центров. Наименьшее количество зарядных станций в Октябрьском районе. Если внимательно изучить месторасположение зарядных электростанций, можно увидеть, что на данный момент зарядные станции отсутствуют в транспортно-пересадочных центрах, таких как Междугородний автовокзал, Автовокзал Восточный и на станциях городской электрички. Также анализ месторасположения зарядных станций показал, что часть из них располагается в местах, где отсутствует какие-либо пункты для развлечения и питания владельцев ТС.

На территории Красноярска можно встретить как отдельно стоящие зарядные электростанции, так и электростанции, расположенные на трансформаторной подстанции (далее – ТП) (рис. 2).

В городе эксплуатируются зарядные электростанции второго и третьего уровней: Mode 2 (обычная зарядка) и Mode 3 (ускоренная зарядка). Задача электростанций третьего уровня – быстро обслужить большое количество потребителей (электромобилей). Лучше всего подходит на роль общественной электрозаправки или частной под обслуживание большого

© Воеводин Е. С., Бакланов А. А., 2024

коммерческого парка электротранспорта. Время зарядки современных тяговых батарей до 100 % около 30 минут [3, 4].

Так как каждый производитель использует собственные батареи, параметры зарядки и электрические разъемы, существующая сеть электрозаправочных станций способна обслужить любой электромобиль.

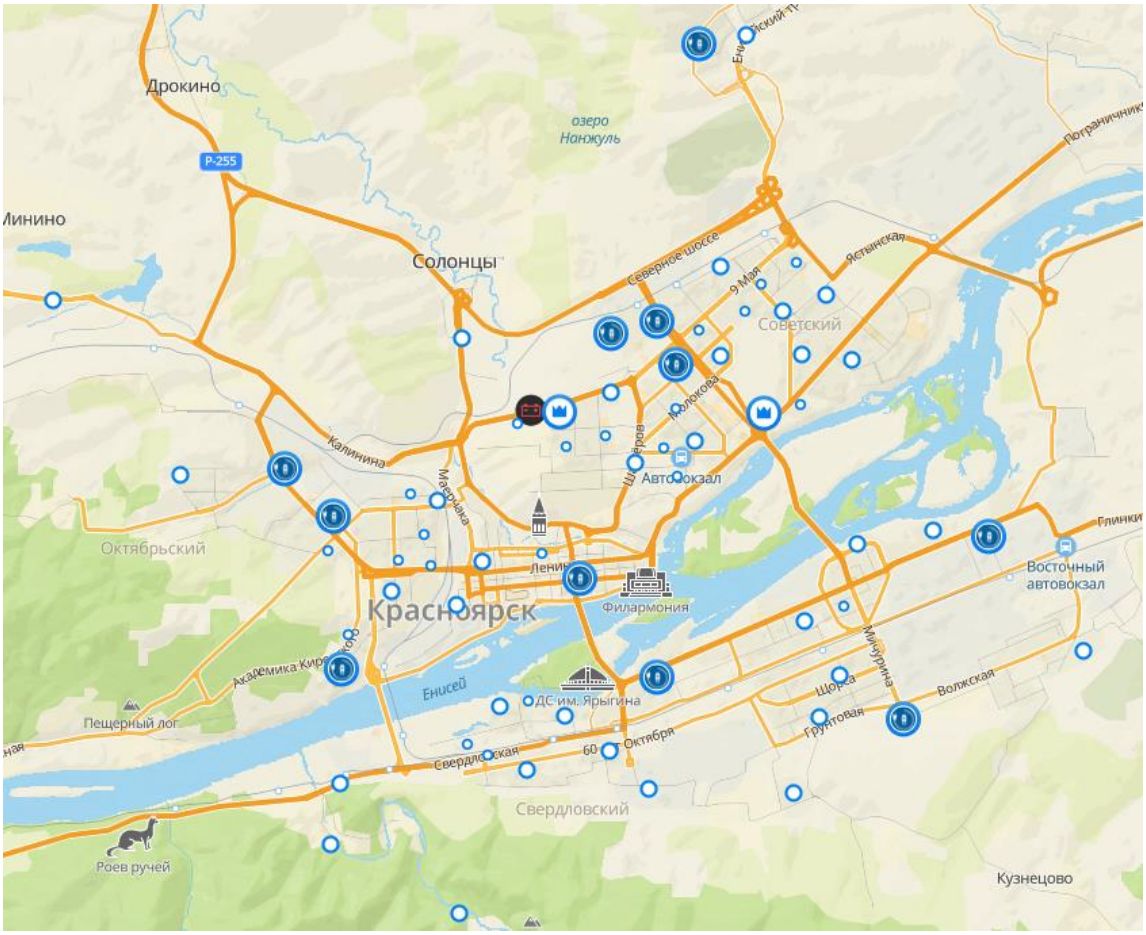


Рис. 1. Сеть станций для зарядки электротранспорта в Красноярске

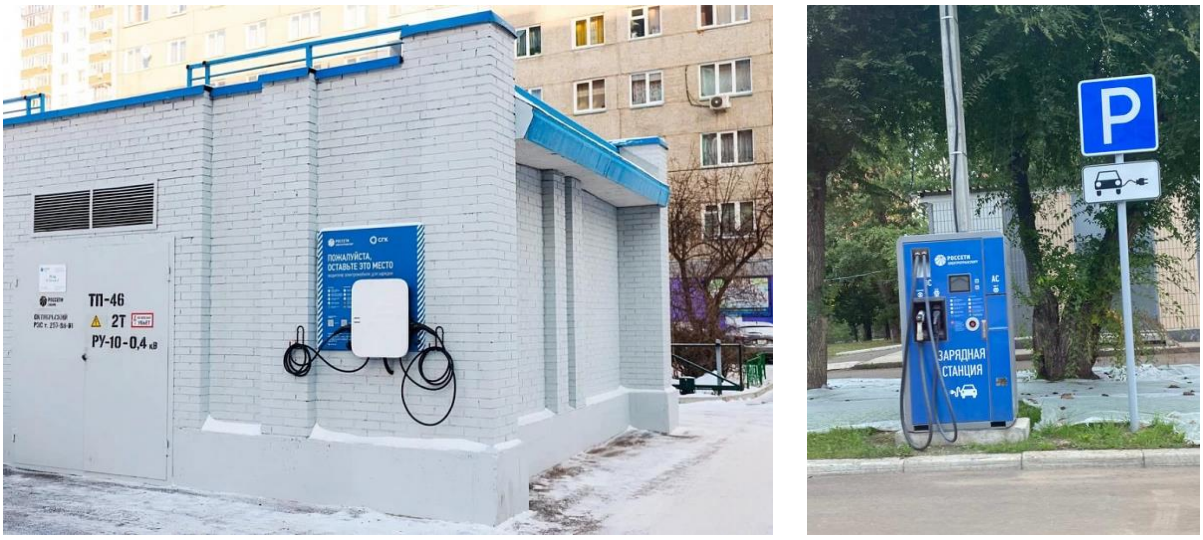


Рис. 2. Примеры эксплуатируемых зарядных станций

Существует три сценария развития инфраструктуры ЭЗС: сбалансированный, базовый и радикальный.

Сбалансированный сценарий развития инфраструктуры ЭЗС к 2030 г. потребует наличия по РФ 152 тыс. зарядных станций. Общий объем финансирования составит 267 млрд руб. (1,5 млн электромобилей к 2030 г., 10 электромобилей на 1 ЭЗС, 60 % медленных ЭЗС) (рис. 3) [5].



Рис. 3. Развитие зарядной инфраструктуры в России, сбалансированный сценарий

Но существует ряд факторов, сдерживающих развитие электротранспорта и зарядной инфраструктуры:

1. Отсутствие культуры парковки у автовладельцев. На зарядных станциях, расположенных в зоне жилой застройки, места для парковки и зарядки электромобилей заняты ТС с ДВС из-за комплексной проблемы с парковочными местами (рис. 4).



Рис. 4. Проблемы занятых мест для парковки и зарядки электромобилей

2. При расположении зарядных станций на ТП также возникает проблема с парковочными местами, несмотря на охранную зону подстанции (зона вокруг подстанции (ТП, РП) в виде земельного участка и воздушного пространства, ограниченная вертикальными плоскостями, отстоящими от всех сторон ограждения (строительной части) по периметру на расстоянии: для ТП и РП 6–10 кВ – 10 м, ПС 35 кВ – 15 м; ПС 110 кВ – 20 м; ПС 220 кВ – 25 м), на территории которой парковка запрещена.

3. Для управления парком электромобилей необходимы специальные облачные технологии, благодаря которым компании смогут отслеживать такие вещи, как планирование зарядки (отслеживание в реальном времени статуса батареи и загруженность ближайшей зарядной инфраструктуры), статус технического обслуживания электромобиля и оптимизацию маршрута в зависимости от времени суток, погоды и характера использования.

4. Для эксплуатации электробусов необходимы автобусные парки, способные обеспечить ночную зарядку всех электробусов, а так как запас хода электробуса без зарядки составляет около 150 км, на каждом конечном пункте маршрута необходима зарядная станция с быстрым зарядом, что обеспечить бесперебойную работу городского транспорта.

5. В 2023 г. в России введена новая система таможенных пошлин на импортированные электромобили.

6. Также в 2023 г. вступили в силу новые правила регистрации электромобилей. Теперь для получения государственного номера необходимо предоставить дополнительные документы, в т. ч. сертификат соответствия требованиям безопасности.

Таким образом, новые правила и ограничения значительно ограничивают выбор моделей электромобилей на рынке, что в свою очередь может привести к снижению темпов развития электрического автомобильного транспорта и инфраструктуры.

Одной из основных проблем, которая тормозит темпы развития инфраструктуры, является неявная привлекательность бизнеса и высокая стоимость подключения зарядной станции к электросетям. Дополнительно влияет и экономическая ситуация в стране.

Список источников

1. Аналитическое агентство АВТОСТАТ [Электронный ресурс]. URL: https://www.autostat.ru.

2. ПАО Россети [Электронный ресурс]. URL: https:// spec_projects.

3. International Energy Agency [Электронный ресурс]. URL: https://www.iea.org/topics/transport/evi.

4. Асадов Д. Г. Исследование состояния и перспективы развития инфраструктуры электромобилей // Международный технико-экономический журнал. 2011. № 5. С. 132–135.

5. Перспективы развития рынка электротранспорта и зарядной инфраструктуры в России : экспертно-аналитический доклад, краткая версия / Д. В. Санатов [и др.]; под ред. А. И. Боровкова, В. Н. Княгинина. СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. 20 с.

6. Постановление Правительства РФ от 24 февраля 2009 г. № 160 «О порядке установления охранных зон объектов электросетевого хозяйства и особых условий использования земельных участков, расположенных в границах таких зон».

УДК 656.13

ПРИЧИНЫ АВАРИЙНОСТИ НА ПОДЪЕЗДЕ К КРАСНОЯРСКОЙ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

А. С. Кашура[1], К. В. Бакланова[2], Е. С. Воеводина[3]

[1, 2, 3]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[3]ves_enya@mail.ru

Безопасность дорожного движения является одним из приоритетных направлений развития государства. Ежегодно реализуются различные программы и мероприятия, направленные на сокращение количества ДТП и их тяжести. Но несмотря на попытки государства снизить аварийность, в ДТП ежедневно погибают люди в трудоспособном возрасте.

По состоянию на 14 августа 2023 г. Красноярский край занимал 59-е место в рейтинге регионов, исходя из количества ДТП с пострадавшими на 100 тыс. автомобилей [1, 2].

Наиболее загруженной и аварийно опасной является сеть автомобильных дорог общего пользования федерального значения, попадающих в границы Красноярской агломерации (рис. 1). Большие потоки автомобильного транспорта, стекающиеся в административный центр Красноярского края, требуют от дорог высоких транспортно-эксплуатационных показателей. Участки с двухполосным движением уже на протяжении последних десяти лет не справляются с потоком транспорта в границах агломерации и требуют их реконструкции.

Ежегодно одни и те же участки автомобильных дорог приобретают статус аварийно опасного (участок дороги, протяженность которого не превышает 1000 м, где в течение года произошло три и более ДТП одного вида или пять и более ДТП независимо от их вида, в результате которых погибли или были ранены люди) [3]. Аварийно опасные участки на въезде на территорию Красноярской агломерации представлены на рис. 2.

Преобладающим видом ДТП на данных участках являются столкновения в попутном и боковом направлении средней тяжести.

Основными нарушение повлекшими ДТП являются:

– неправильный выбор дистанции;
– несоблюдение очередности проезда;
– нарушение правил перестроения;
– несоответствие скорости конкретным дорожным условиям;
– нарушение правил расположения ТС на проезжей части [2, 4].

© Кашура А. С., Бакланова К. В., Воеводина Е. С., 2024



Рис. 1. Количество ДТП на въезде в Красноярск за 2022 г.



Рис. 2. Аварийно опасные участки на въезде на территории Красноярской агломерации

Большое количество ДТП на въезде на территорию Красноярской агломерации связано с психологией водителя, так как на подъездах к агломерации, как правило, отсутствует ограничение скоростного режима, помимо ограничения, установленного законодательством для дорог II и III категорий. Въезжая на городскую территорию, водитель сталкивается с ограничением в скорост-

ном режиме 60 или 40 км/ч в зависимости от участка дороги. Таким образом, водителю необходимо снизить скорость на 30/50 км/ч, к резкому снижению скорости добавляется увеличившаяся плотность транспортного потока, требующая от водителя повышенного внимания и концентрации.

Как правило, движение по дорогам вне населённых пунктов является монотонным (движение транспортного средства в условиях однообразного ландшафта, отсутствия или небольшого количества других участников дорожного движения, размеренной езды в течение долгого времени). Научно доказано, что монотонное движение вызывает усталость быстрее, чем интенсивное, однако водитель может сразу ее не почувствовать, так как признаки утомления проявляются спустя некоторое время [5].

Водители называют такую усталость дорожным гипнозом. Дорожный гипноз – это очень опасное явление. У человека, подвергнувшегося влиянию монотонии, существенно увеличивается время реакции (до 30 %), затормаживается скорость восприятия и осмысления увиденного. Это может привести к непроизвольному срабатыванию автоматизированных движений и, как следствие, к неадекватной реакции водителя на любое изменение дорожной ситуации, способной повлечь за собой ДТП.

Таким образом, концентрация ДТП наблюдается на участках автомобильных дорог, где присутствует эффект монотонного движения. При изменении дорожных условий (резком торможении впереди едущего автомобиля, появлении пешехода, перестроении ТС, движущегося по соседней полосе и т. д.) водитель просто не успевает на них среагировать, так как время его реакции замедлено из-за движения при однотипных условиях.

Каждый человек подвергается влиянию монотонии по-разному: одни более устойчивы, другие – менее. Согласно исследованиям, люди подвижного типа, обладающие сильной нервной системой, переносят ее тяжелее людей инертного типа, чья нервная система более слабая. Считается, что 75 % водителей очень тяжело переносят монотонию, 22 % – тяжело и 3 % людей относительно устойчивы к ней. Ученые считают, что можно натренировать устойчивость к монотонии. Это доказывается тем фактом, что водители-дальнобойщики переносят длительные монотонные поездки намного легче, чем другие водители [6].

Так как не все водители знают про существование данного эффекта и как с ним бороться, необходимо предпринять ряд организационно-технических мероприятий на въездах в крупные населённые пункты.

Список источников

1. Показатели состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. URL: http: //stat.gibdd.ru.

2. Аналитическое агентство АВТОСТАТ [Электронный ресурс]. URL: https://www.autostat.ru.

3. Федеральный закон от 10.12.1995 № 196 «О безопасности дорожного движения (с изменениями на 8 декабря 2020 года)».

4. Пульянова К. В., Воеводин Е. С. Анализ статистики ДТП на федеральных дорогах Красноярского края // Борисовские чтения : сб. материалов Всерос. науч.-техн. конф. Красноярск, 2017. С. 97–100.

5. О месте психологии в управлении ТС водителями. Управление автомобилем во время монотонного движения движения [Электронный ресурс]. URL: https://abvkirov.ru/psychology-behind-the-wheel/175-monotonic-motion.html.

6. Управление автомобилем в условиях монотонного движения / Е. Л. Ермолаева, Е. С. Илюшина, А. И. Торопова, Л. А. Федосеева // Электронный научно-практический журнал «Современные научные исследования и инновации». URL: https://web.snauka.ru/issues/2018/07/87260.

УДК 629.113

СТРУКТУРА ВХОДЯЩЕГО ПОТОКА ЗАКАЗ-НАРЯДОВ ДИЛЕРА ОТЕЧЕСТВЕННОГО АВТОМОБИЛЯ

Д. В. Крылов[1], В. Н. Катаргин[2], А. В. Камольцева[3]

[1, 2, 3]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]dmitry.krylov@lada-medved.ru

Оценка структуры входящего потока заказ-нарядов позволяет понять ее с точки зрения величин, которыми необходимо управлять в реальном производстве. Очень важно оценить, какова величина среднего заказ-наряда в нормо-часах, ее вариации и зависимость от входящего потока с точки зрения выполнения плана.

Мастер цеха является ключевой фигурой на предприятии по обслуживанию автомобилей. В его обязанности входит обеспечение выполнения плана производства путем расщепления входящего потока на исполнителей, контроль соблюдения правил безопасности при выполнении работ производственными сотрудниками, соблюдение технологии ремонта и контроль качества оказываемых услуг. Очень многое зависит от того, насколько мастер цеха правильно распределяет заказ-наряды, в т. ч. от этого зависит микроклимат, вариация величины заказ-нарядов, их сложность выполнения, так как они являются входящим параметрами для такого анализа.

Статистические исследования проводились на базе официального дилера Lada в Красноярске «Медведь Лада». В исследовании рассматривались продаваемые модели марки Lada: Granta, NIVA, Vesta, XRAY, Largus.

Для анализа были взяты три вида технического воздействия: техническое обслуживание, гарантийный ремонт и текущий ремонт (см. рис. 1, 2, 4). Период формирования реестра заказ-нарядов: 01.01.2021 – 31.12.2021 и 01.01.2022 – 31.12.2022 (источник – информационная база 1С ДЦ).

Независимо от модели автомобиля с увеличением срока эксплуатации происходит «вымывание» парка, в среднем на каждое последующее ТО возвращается на 15 % меньше автомобилей. Чем технически проще модель, тем меньше процент возвращаемости на ТО, потребитель выбирает экономию в ущерб качеству. Вид ремонта ТО имеет благоприятное сочетание содержания заказ-наряда с точки зрения производительности труда и квалификации персонала, оно заключается в соотношении времени и трудозатрат на операцию.

© Крылов Д. В., Катаргин В. Н., Камольцева А. В., 2024

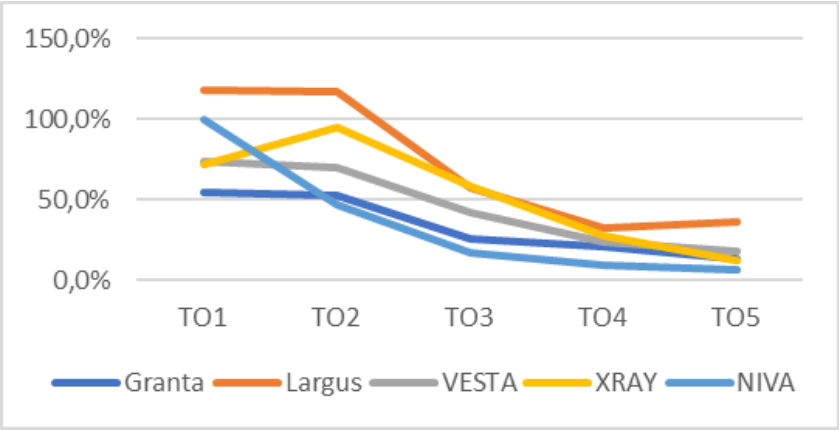


Рис. 1. Заезды на ТО по моделям

Гарантийный ремонт менее стабилен и наименее востребован у производственных сотрудников, это связано с низкой стоимостью нормочасов, которую компенсирует производитель, высокими требованиями к квалификации исполнителя, растянутый по времени ремонт, что приводит к простою сотрудника из-за необходимых процедур при согласовании.

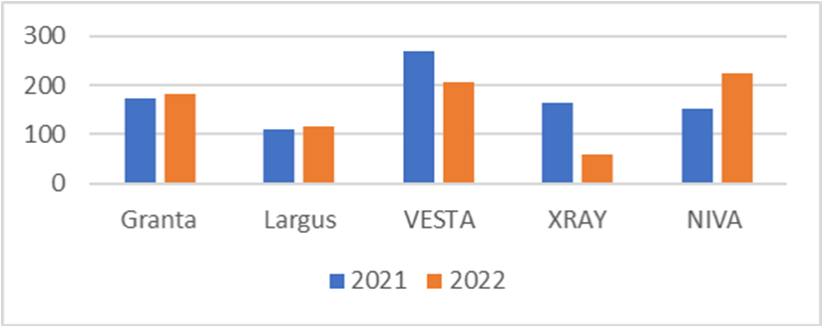


Рис. 2. Заезды на гарантийный ремонт

На устранение производственных недостатков возвращаются около 15 % автомобиля от проданных. Положительной стороной этого вида ремонта является метод устранения дефекта при гарантийном ремонте, идет агрегатная замена, что минимизирует ошибку рабочего сотрудника и возникновения повторного обращения потребителя по одному дефекту.

Техническое обслуживание разделено по видам с ТО-1 по ТО-5. Техническое обслуживание является стабильным и самым востребованным видом ремонта у производственных сотрудников, так как это стандартный набор услуг и материалов, обслуживание автомобиля с данным видом ремонта не подразумевает сложных работ, не сопровождается простоем сотрудника по разным причинам, не требует высокой квалификации исполнителя, прозрачное стабильно одинаковое начисление премии за выполнение.

Расширения заказ-наряда с видом ремонта «техническое обслуживание» имеет зависимость от модели и величины пробега автомобиля,

расширение при ТО-1 происходит за счет дополнительного оборудования, которое не было приобретено по разным причинам при покупке нового автомобиля, ТО-2–ТО-3 расширение заказ-наряда происходит за счет эксплуатационных дефектов и нормального износа деталей, заказ-наряды по ТО-4–ТО-5 расширяются за счет замены или ремонта изношенных деталей, устранения эксплуатационных дефектов (см. рис. 3).

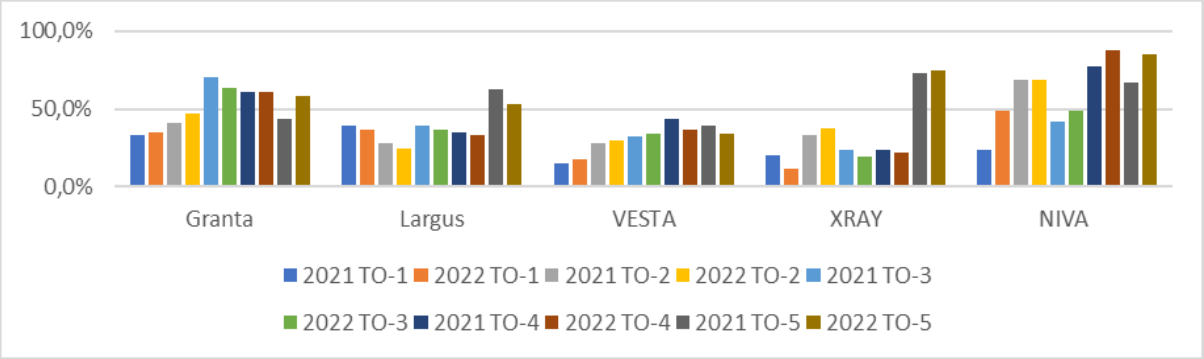


Рис. 3. Расширения заказ-наряда по моделям и видам ТО

Текущий ремонт (рис. 4) проводится для выявления отказа или неисправности и нахождения наилучшего способа их устранения, средняя возвращаемость по моделям составляет 40 % от общего количества проданных автомобилей.

Текущий ремонт является наименее стабильным и имеет наибольшие вариации, носит случайный характер причины возникновения, менее востребованй у производственных сотрудников. Ремонт не является очевидным по набору материалов и заранее неизвестным техпроцессом, требует более высокой квалификации исполнителя, сопровождается простоем при выполнении (поиск неисправности, согласование, подбор, доставка), также большое негативное влияние на сложность оказывает возраст автомобиля.

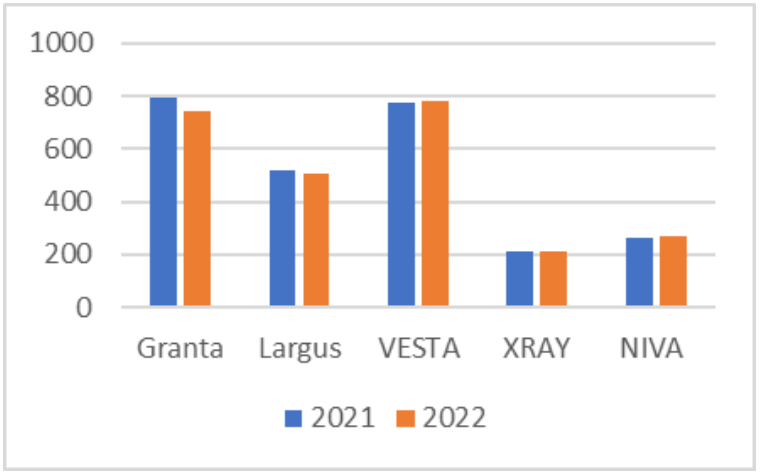


Рис. 4. Заезды на текущий ремонт

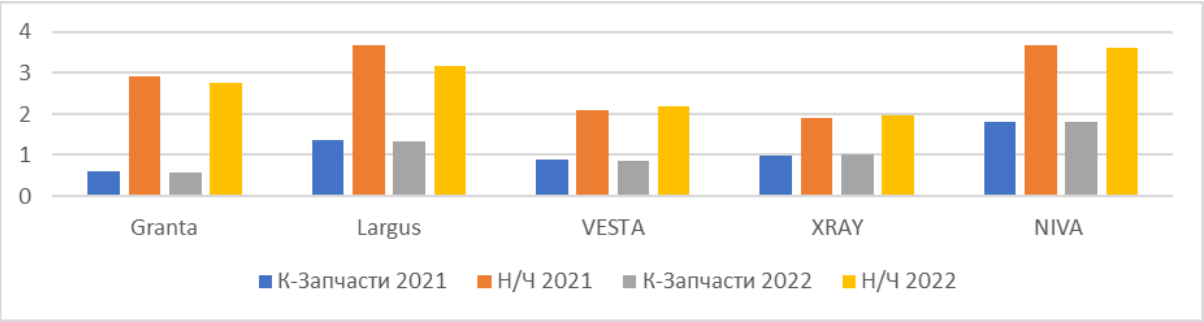


Рис. 5. Структура заказ-наряда «Текущий ремонт»

Несмотря на соотношение наполняемости заказ-наряда материалами и услугами, вид ремонта содержит неопределенность по заработной плате для производственного рабочего, так как коэффициент эффективности вида ремонта ниже по отношению к техническому обслуживанию (рис. 5). Неопределенность растет от уровня надежности модели автомобиля.

Закономерность между моделью автомобиля и количеством нормо-часов, потраченных на устранение дефекта, – показатель привлекательности модели для производственного рабочего (рис. 6).

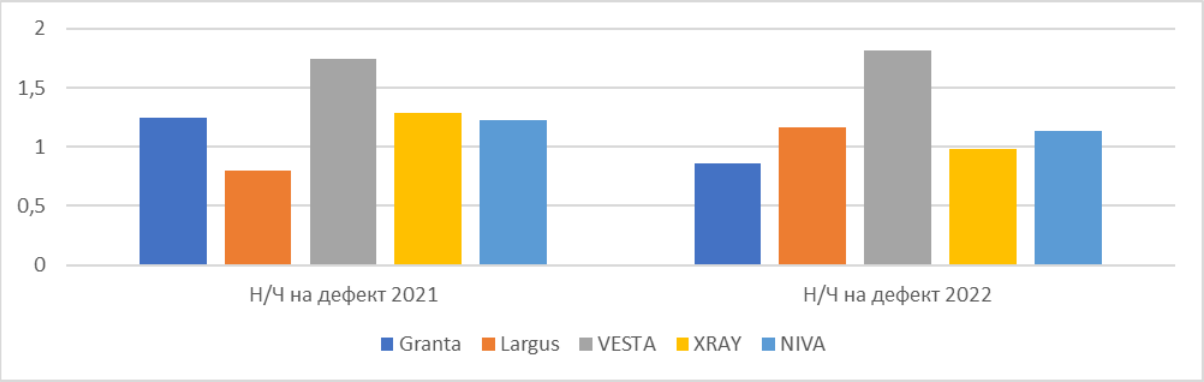


Рис. 6. Среднее количество нормо-часов на дефект по моделям

Таким образом, при управлении микроклиматом в коллективе ремонтных рабочих мы имеем четыре источника входящего потока и при исходной гипотезе о том, что каждый ремонтный рабочий знает структуру заработной платы своих коллег, необходимо формировать наиболее справедливую или совершенную систему управления видами работ. Выявлена существенная вариация по видам и трудоемкости работ. Можно предположить, что выявленными четырьмя источниками можно управлять микроклиматом.

По результатам исследования выявлены четыре величины, которыми можно управлять распределением входящего потока заказ-нарядов, структура разнообразна и имеет большую вариацию, что позволит в будущем выработать правила распределения и управления микроклиматом в коллективе.

Список источников

1. Кузнецов Е. С. Управление техническими системами : учеб. пособие. М., 2003. 247 с.

2. ООО «Медведь-Сервис, Альфа-Авто Лада 1С: Предприятие 8.3 (8.3.18.1483). Информационная база.

3. Городков М. В., Катаргин В. Н., Камольцева А. В., Писарев И. С. Исследование особенностей и параметров входящего потока заказ-нарядов автомобильного дилера премиального сегмента // Финансовый бизнес. 2022. № 6 (228). С. 32–36.

УДК 629.113

ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ HYUNDAI

Д. В. Кутуров[1], В. Н. Катаргин[2], А. В. Камольцева[3]

[1, 2, 3]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]kuturov.d@mail.ru

Бренд Hyundai на отечественном рынке начал набирать популярность с 2006 г. Это объяснялось современным дизайном, высокой надежностью и доступной ценой. В подтверждение этому бестселлер Hyundai Solaris три года подряд получал звание «Автомобиль года». В 2010 г. в России было продано 87 081 автомобилей. Компания уделяет внимание не только дизайну, но и силовым агрегатам, повышая экономичность двигателей и мощность при относительно небольших рабочих объемах.

На пике популярности, в 2010 г., компания устанавливала на свои новые автомобили (например, IX35, также устанавливался и на KIAS-portage, HyundaiSonata и HyundaiTucson) силовой агрегат G4KD объемом 2,0 л, низкий ресурс которого выявили во время гарантийного периода [2]. Данные о продажах автомобилей Hyundai с бензиновыми силовыми агрегатами в 2012 г. приведены на рис. 1.

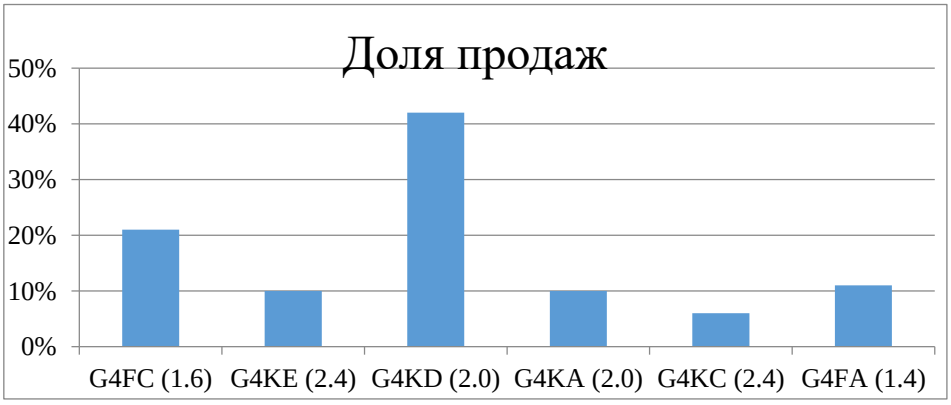


Рис. 1. Диаграмма продаж автомобилей Hyundai с бензиновыми силовыми агрегатами в 2012 г.

История этого двигателя началась 2002 г., когда компании Chrysler, Mitsubishi и Hyundai создали совместное предприятие GEMA (Global Engine Manufacturing Alliance – пер. с англ. «глобальный альянс по производству двигателей»). Благодаря этому объединению появились силовые

© Кутуров Д. В., Катаргин В. Н., Камольцева А. В., 2024

агрегаты G4KA у Hyundai (рис. 2), 4B11 у Mitsubishi (рис. 3) и ECN у Chrysler [6]. Стоит отметить, что G4KD не является новой разработкой компании. Его прямым предшественником является G4KA, имеющий идентичный блок цилиндров с тем же объемом.

Конструктивно все эти двигатели имеют алюминиевый блок с чугунными гильзами, 16-клапанную головку блока цилиндров без гидрокомпенсаторов и цепной привод газораспределительного механизма.

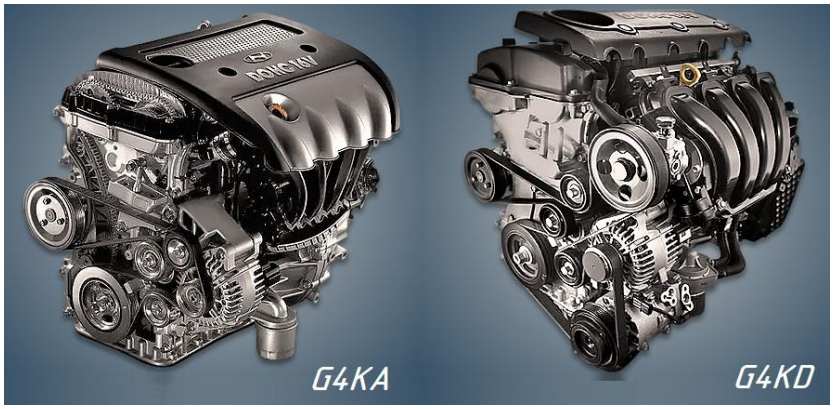


Рис. 2. G4KA и G4KD



Рис. 3. Mitsubishi 4B11

Оригинальными у каждого мотора являются впускные и выпускные коллекторы, а также другие элементы, влияющие на настройку двигателя под определенную мощность, крутящий момент. Двигатель 4B11 отличался наличием фазорегуляторами MIVEC [5].

Рассматривая силовые агрегаты G4KD и G4KA, немаловажным является тот факт, что двигатели имеют одинаковые по размеру и донышку поршни, которым присвоили разные артикулы (рис. 4). Однако коленчатые валы имеют различия (рис. 5): у G4KD он полностью уравновешенный. Еще одно отличие есть в головке блока цилиндров – наличие одного фазовращателя на впускном распределительном валу. У G4KD два фазовращателя – на впускном и выпускном валах.



Рис. 4. Поршни G4KD и G4KA



Рис. 5. Коленчатые валы двигателей G4KD и G4KA

Имея, на первый взгляд, незначительные отличия, G4KD обладает гораздо меньшим ресурсом, чем его предшественник. Поэтому далее подробнее рассмотрим отказы этого силового агрегата [4].

Характерным проявлением отказов с пробега в 50 тыс. км стал стук под капотом во время езды или в режиме холостого хода, сопровождающийся повышенным расходом масла. Делались замены силовых агрегатов по гарантии, тогда как владельцы, у которых вышеперечисленные дефекты появились после истечения гарантийного сока, столкнулись с проблемой ремонта двигателя и устранения причин, вызвавших преждевременный износ цилиндро-поршневой группы (далее – ЦПГ) [2].

Из практического опыта, после выполнения нескольких ремонтов двигателей G4KD, выявлены пути решения проблемы с преждевременным износом ЦПГ (рис. 6). Есть гипотеза, что определяющими факторами являются не только режим эксплуатации, но и конструктивные недостатки двигателя, в т. ч.:

– неисправность масляного насоса (агрегат может не выходить из строя, однако не создавать требуемое давление в системе смазки);

– использование масла, марка которого не подходит для двигателя G4KD;

– длительная езда на чрезмерно высоких или низких скоростях.

Одним из рациональных путей решения этой проблемы является установка в блок с цилиндрами масляных форсунок (рис. 7). С их помощью головка поршня и стенки цилиндра смазываются и одновременно

охлаждаются, продлевая при этом ресурс двигателя после капитального ремонта. Металл уменьшается в размерах и не царапает гильзу цилиндра. То есть наличие масляных форсунок компенсирует недостаток масляного тумана, создаваемого неполностью уравновешенным коленчатым валом [3].

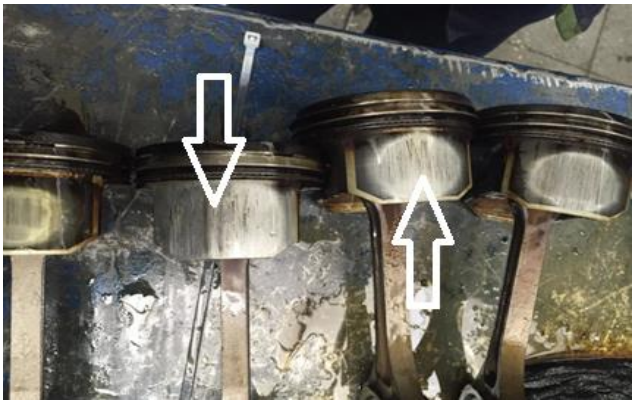


Рис. 6. Характерные следы износа ЦПГ на пробеге 100 тыс. км

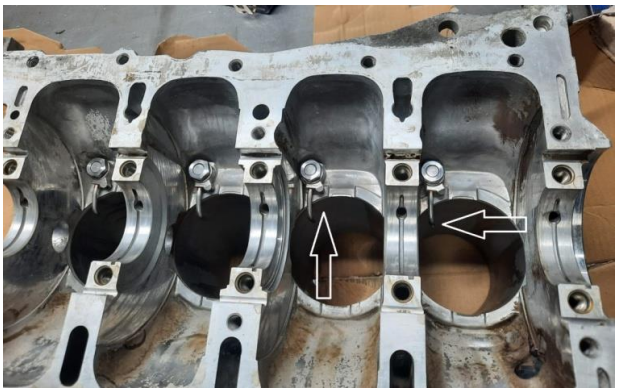


Рис. 7. Установка масляных форсунок в блок двигателя

Также при более подробном изучении конструкции силового агрегата было замечено, что на первых партиях шатун не имел специальной канавки на щеке шатуна. Чуть позже инженеры добавили эту канавку (рис. 8). Данная проточка призвана концентрировать поток масла, выходящего из-под шатунного вкладыша, и направлять его в сторону стенки цилиндра. Это не решило проблему с задирами, но помогло отодвинуть ее за гарантийный период [4].

Значимым фактором, влияющим на износ ЦПГ, также является слишком тонкая стенка гильзы цилиндра. Такое заводское исполнение приводит к постоянному изменению в процессе работы ДВС геометрической формы гильзы, и она принимает не круглую, а овальную форму. Так при допустимых значениях для новых деталей зазора в пределах 0,05–0,07 мм на дефективном двигателе он доходил до 0,12–0,20 мм, что является уже не допустимым [1].



Рис. 8. Доработанный шатун

Помимо тонкой гильзы, в ЦПГ применяются относительно тонкие маслосъемное и компрессионные кольца, 2,0 и 1,2 мм соответственно, а также слишком узкие отверстия для отвода масла в поршне. При такой толщине колец увеличивается износ ЦПГ, не компенсируя динамический зазор по цилиндру и не снимая при этом излишки масла со стенок [1].

Поэтому в дополнение к предложенным вариантам решения проблемы повышенного расхода масла в двигателе G4KD можно добавить установку колец увеличенной толщины, проточив канавки, и увеличить диаметр маслосливных отверстий в поршнях. Это улучшит отвод масла и компенсирует «плавающий» зазор по цилиндру [1].

Сравнив конструкцию двигателей G4KD и его прародителя G4KA, мы наблюдаем ярко выраженное упрощение ЦПГ. В масштабах производства эта экономия ничтожно мала. Вполне возможно, что компания, преследующая получение максимальной прибыли, путем удешевления производства и экономии на материалах, навредила не только конструкции силового агрегата, но и своей репутации.

Список источников

1. Бондаренко А. А., Руднев С. Г. Способ борьбы с повышенным расходом масла на двигателе G4KD автомобиля // 76-я научно-практическая конференция студентов по итогам НИР за 2020 год : сб. ст. В 3 ч. Ч. 2. Краснодар, 2021. С. 422–424.

2. Двигатель G4KD 2.0 массовые проблемы [Электронный ресурс]. URL: https://oem-zap.su/content/dvigatel-g4kd-2-0-massovye-problemy.

3. Задиры в двигателе G4KD 2.0: причины, проверка, профилактика [Электронный ресурс]. URL: https://oem-zap.su/content/zadiry-v-dvigatele-g4kd20.

4. Задиры G4KD. Правда, вымысел и ложь [Электронный ресурс]. URL: https://www.drive2.ru/b/561096727646438993.

5. Двигатель Mitsubishi 4B11 [Электронный ресурс]. URL: https://otoba.ru/dvigatel/mitsubishi/4b11.html.

6. Глобальный альянс двигателей [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Engine_Alliance.

УДК 656.025.4

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНТЕРМОДАЛЬНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК В АВТОМОБИЛЬНО-ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ СООБЩЕНИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ СПРОСА

М. С. Лыжина[1], А. И. Фадеев[2]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]margot.lyzhina.134@gmail.com

Контейнерные терминалы обеспечивают преобразование грузопотоков, выполнение всех технологических и коммерческих операции с участием смежных видов транспорта, вследствие чего являются наиболее значимыми элементами контейнерной транспортной системы.

Основным недостатком существующей технологии контейнерных перевозок на транспорте, оказывающим значительное влияние на время перевозки контейнерных грузов, являются длительные технологические и межоперационные простои вагонов; основной причиной длительных простоев является неравномерность прибытия транспорта в терминал.

Время прибытия или завоза контейнеров на терминал представляет собой случайную величину. Просчитать даты окончания формирования и отправления со станции того или иного поезда и, соответственно, дату прибытия на терминал станции назначения очень сложно. Исключение составляют жесткие нитки графика контейнерных поездов, но далеко не весь график движения грузовых поездов состоит из подобных ниток.

Дата сдачи поезда на погрузку или разгрузку зависит от того, насколько быстро на станции отправления будет сформирован поезд установленной длины из необходимого количества контейнеров, предъявленных отправителем к перевозке. Процесс прибытия груженых контейнеров от грузоотправителей на станцию имеет неопределенный характер в силу того, что зависит от целого ряда факторов, например, от даты заключения торговых контрактов, готовности груза к отправке, наличия товара на складе покупателя и т. д.

Аналогично работе железнодорожного транспорта, завоз груженых контейнеров автотранспортом на терминал не поддается точному расчету из-за невозможности определить дату загрузки контейнера каждым кон-

© Лыжина М. С., Фадеев А. И., 2024

кретным отправителем. Отправитель, по мере готовности груза к отправке, заказывает необходимый контейнер у собственника последнего или нанимает экспедитора, который организует данную перевозку, но сама дата отправки в любом случае остается неопределенной.

Таким образом, неопределенность спроса должна быть интегрирована в проблему, чтобы повысить надежность транспортировки [1]. Она может быть сформулирована с помощью нечеткого программирования и стохастического программирования. Стохастическое программирование подразумевает решение задачи маршрутизации в условиях того, что некоторые исходные данные для расчетов могут быть определены не полностью до момента начала осуществления перевозки по спланированному маршруту. Данному подходу посвящены исследования [3, 5, 7, 9, 10], основывающиеся на методах упреждающей оптимизации для обработки динамических запросов на отправку при интермодальных перевозках, путем включения случайной информации о формировании запросов, пункте назначения, объеме, времени выполнения перевозки. Результаты экспериментов показывают, что упреждающий подход превосходит оперативный, при котором решения принимаются только на основе детерминированной информации, и обеспечивает снижение общих затрат при различных условиях осуществления интермодальных перевозок.

При создании стохастических моделей проектирования интермодальных систем ряд авторов опираются на гибридные эвристические алгоритмы [7, 10]. В частности, в работе [10] используются методы аппроксимации среднего значения выборки и оптимизации «муравьиной колонии». Автор работы [7] предлагает сочетание подхода с аппроксимацией выборочного среднего значения с повторяющимся локальным поиском. Обе интегрированные стохастические модели дают оптимальные решения со значительно меньшими вычислительными затратами по сравнению с традиционными моделями.

За последнее время (с 1975 г.) появились различные методы, основанные на теории нечетких множеств. Отличие их состоит в используемом алгоритме нечеткого вывода. Учитывая неопределенность спроса, авторы работы [8] разработали модель для решения задачи маршрутизации между автомобильным и железнодорожным транспортом с неопределенностью спроса и временными окнами. Для целей моделирования в данном исследовании были применены нечеткие трапециевидные числа для представления нечетких требований. В процессе решения задачи маршрутизации нечеткая модель методом линеаризации переформулируется в четкую, а затем генерируется эквивалентная модель смешанного целочисленного линейного программирования, которая может быть решена стандартными математическими методами.

В статье [6] задачи определения равновесной загрузки погрузо-разгрузочных средств контейнерного терминала сводится к вариационному неравенству и задаче оптимизации. Вводится понятие матрицы соответ-

ствия и рассматриваются различные подходы к ее оценке. Предложенный подход к описанию моделей задач нелинейной оптимизации, основанный на экспертных представлениях их в виде нечетких значений (т. е. в виде множеств, а не точечных значений), позволяет лицу, принимающему решения, понять семантику целевой функции и ограничения решаемой задачи оптимизации слабо формализуемых процессов при наличии различных типов неопределенностей в исходной информации. Это, в свою очередь, позволяет описать модель исследуемой задачи (целевую функцию и ограничения) в виде нечетких множественных выражений, т. е. описать проблему в виде «мягких» моделей.

В то же время следует отметить, что предлагаемый подход и алгоритм при решении задачи нелинейной оптимизации использует процедуры классического математического программирования. Следовательно, поиск разумного сочетания идей и алгоритмов классического и нечеткого математического программирования позволит найти новые, более эффективные методы решения сложных оптимизационных задач в условиях неопределенности, как во внешней, так и во внутренней среде оптимизируемых процессов.

Перемещение порожних контейнеров также создает серьезную проблему для крупномасштабной железнодорожной сети из-за пространственного дисбаланса между предложением и спросом на грузовые перевозки. Для плана ECR (Empty container repositioning) необходимо точно прогнозировать и анализировать спрос и предложение пустых контейнеров. При этом необходимо анализировать транспортные мощности, такие как подача порожних вагонов для погрузки, мощность контейнерных станций и концентратов для хранения, пропускная способность железнодорожных линий и т. д. Эти параметры трудно получить точно или учесть в модели, которые имеют решающее значение для определения того, может ли план ECR быть реализован.

В статье [4] разрабатывается структура для проблемы ECR на основе доступных больших наборов данных. Эта структура использует алгоритмы машинного обучения для прогнозирования спроса и предложения пустых контейнеров, а также для построения параметров, определяющих факторы, которые трудно интегрировать в модели оптимизации. На основе этих параметров предлагаются две модели оптимизации для разных режимов ECR. В целевые функции вводится интегральный весовой коэффициент, минимизирующий суммарные пробеги порожних контейнеров. Модели решаются после преобразования ограничений на основе треугольного нечеткого спроса/предложения. Численные результаты, основанные на реальной ситуации, показывают, что предложенный метод решения может дать оптимальный план перемещения пустого контейнера. Общий контейнеро-километр может увеличиться после введения параметров, управляемых данными, так как некоторые из перемещений пустых контейнеров могут больше не следовать кратчайшему пути, в то время как окончательный план становится более практичным и выполнимым.

Задача оптимизации интермодальных автомобильно-железнодорожных перевозок в условиях наличия множества источников неопределенности времени при переработке контейнеров на терминале решается в работе [8] путем использования нечетких мягких временных окон, связанных с уровнем обслуживания перевозки. Надежность повышается за счет учета нескольких источников неопределенности во времени, включая время в пути и время погрузки/разгрузки. Такая неопределенность моделируется с помощью теории нечетких множеств. Треугольные нечеткие числа приняты для представления неопределенного времени. При вышеизложенном соображении сначала устанавливается модель нечеткого смешанно-целочисленного нелинейного программирования со взвешенной целью, которая включает минимизацию затрат и максимизацию уровня обслуживания для выполнения транспортных заказов. Затем используется нечеткая модель ожидаемого значения и нечеткое программирование с ограничением шансов по отдельности, чтобы реализовать дефаззификацию нечеткой цели, и нечеткое программирование с ограничением шансов для работы с нечетким ограничением. После дефаззификации и линеаризации создается эквивалентная модель смешанного целочисленного линейного программирования (MILP), позволяющая решить проблему с помощью программного обеспечения для математического программирования.

Использование методов нечеткой логики на практике позволяет сделать тем более точный прогноз, чем точнее отражают действительность экспертные высказывания, заложенные в модель. Следует отметить, что учет факторов в методах прогнозирования на базе нечеткой логики не настолько трудоемок по сравнению с методами регрессионного анализа.

В отличие от нейронных сетей, нечеткие множества обладают следующими преимуществами:

– логика принятия решений не скрыта от исследователя, поскольку она основана на высказываниях (базе нечетких знаний), сформулированных на естественном языке;

– для точного прогноза при использовании нечетких множеств можно использовать ретроспективные данные за более короткие сроки, чем при использовании нейронных сетей. Другими словами, нечеткие множества «обучаются» быстрее, чем нейронные сети;

– при долгосрочном прогнозировании нельзя полагаться на результаты, полученные при использовании одного метода прогнозирования.

Проведенный анализ научных публикаций показывает, что основным методом прогнозирования, используемым при решении поставленной задачи в исследовательской работе, а именно: построение аналитической модели определения равновесной загрузки погрузо-разгрузочных механизмов на терминале в условиях неопределенности спроса, должен быть метод на базе теории нечетких множеств. Дополнять этот метод прогнозирования следует методами, базирующимися на имитационном моделировании, нейронных сетях и регрессионном анализе.

Список источников

1. Чернышев Ю. О., Кубил В. Н., Требухин А. В. Обзор нечетких задач маршрутизации транспорта // Advanced Engineering Research (Rostov-on-Don). 2020. № 3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-nechetkih-zadach-marshrutizatsii-transporta (дата обращения: 12.09.2023).

2. Швец А. В. Прогнозирование контейнеропотока интермодального оператора с использованием теории нечетких множеств // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2009. № 28. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-konteyneropotoka-intermodalnogo-operatora-s-ispolzovaniem-teorii-nechetkih-mnozhestv (дата обращения: 12.09.2023).

3. Butko, Tetiana & Prokhorov, Viktor & Kolisnyk, Alina & Parkhomenko, Larysa. (2020). Devising an automated technology to organize the railroad transportation of containers for intermodal deliveries based on the theory of point processes. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 1. 6-12. 10.15587/1729-4061.2020.195071.

4. Cai, Minyi & Li, Haodong & Guo, Zhanqing & Lu, Shuisheng. (2022). Data-Driven Empty Container Repositioning for Large Scale Railway Network With Fuzzy Demands. IEEE Transactions on Fuzzy Systems. PP. 1-14. 10.1109/TFUZZ.2022.3217884.

5. Guo, Wenjing & Atasoy, Bilge & Beelaerts van Blokland, Wouter & Negenborn, R.R.. (2020). Dynamic and Stochastic Shipment Matching Problem in Multimodal Transportation. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board. 2674. 10.1177/0361198120905592.

6. Muhamediyeva, D.K. & Mirzarahmedova, A. & Khasanov, Usmon. (2023). Fuzzy model of transport demand. E3S Web of Conferences. 365. 05013. 10.1051/e3sconf/202336505013.

7. Müller, Jan & Elbert, Ralf & Emde, Simon. (2021). Integrating vehicle routing into intermodal service network design with stochastic transit times. EURO Journal on Transportation and Logistics. 10. 100046. 10.1016/j.ejtl.2021.100046.

8. Sun, Yan & Liang, Xia & Li, Xinya & Zhang, Cevin. (2019). A Fuzzy Programming Method for Modeling Demand Uncertainty in the Capacitated Road–Rail Multimodal Routing Problem with Time Windows. Symmetry. 11. 91. 10.3390/sym11010091

9. Yuan, Yun & Guan, Yu & Huang, Jingou & Li, Xin. (2022). Railcar reallocation optimization on water-rail network under uncertain busyness. Advanced Engineering Informatics. 55. 10.1016/j.aei.2022.101828.

10. Zhao, Yi & Xue, Qingwan & Cao, Zhichao & Zhang, Xi. (2018). A Two-Stage Chance Constrained Approach with Application to Stochastic Intermodal Service Network Design Problems. Journal of Advanced Transportation. 2018. 1-18. 10.1155/2018/6051029.

УДК 658.7

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЛОГИСТИКИ АВТОСЕРВИСНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В. Н. Маков[1], Е. В. Фомин[2]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]VladikKvadratik@gmail.com

В настоящий момент практически на всех крупных автосервисных предприятиях содержится склад для материальных запасов. Существующие складские системы управления складом запасных частей на автосервисных предприятиях далеки от совершенства. Это несовершенство связано с переполнением складов одними видами запасных частей при дефиците других.

На работу склада запасных частей оказывают огромное влияние следующие факторы: организация процесса поставок; объёмы и виды складируемых запасов; конструктивные особенности склада и способы хранения материальных запасов.

Главная задача системы управления запасами – выявлять факторы спроса автомобильного сервиса на запасные части для обслуживаемых автомобилей. Структура спроса на запасные части носит неравномерный характер.

Стоит отметить, что в различные периоды спрос на одну и ту же запчасть может быть различен. На спрос влияет множество факторов, основные из которых: климатические условия, сезонность, экономическое состояние населения и пр. Спрос появляется при отказе или неисправности автотранспортного средства. Поэтому для завоевания лидирующего места на рынке автосервисных услуг существует необходимость в создании хорошо проработанной системы управления складской логистики.

Для любых обслуживающих предприятий и предприятий оптово-розничной торговли, в т. ч. для автомобильного сервиса, задачи определения материальных запасов заключаются в анализе динамики оборота запасных частей, определении оптимальных размеров запасов автосервиса, прогнозировании товарооборота и издержек обращения на запасные части автомобилей.

Управление складами автомобильных запасных частей требует значительных временных и материальных вложений, без которых не будет достигнуто эффективное функционирование предприятия. При отсутствии

© Маков В. Н., Фомин Е. В., 2024

требуемой запасной части происходит заморозка автотранспортного средства, падение объёма продаж, теряется лояльность клиентов автосервиса.

Содержание излишнего количества запаса тоже является проблемой, поскольку растут издержки на содержание больших площадей, «омертвляется» капитал при параллельном снижении оборота средств и росте затрат на обслуживание резерва. Помимо этого, существуют некоторые детали и расходные материалы, имеющие короткий срок годности или довольно короткую ликвидность.

Для нормального функционирования сервисного предприятия необходимо сгруппировать номенклатуру товаров. Для этого используется метод ABCxyz-анализа и подбирается оптимальная стратегия управления запасом.

Начальным (ключевым) этапом является определение цели анализа. В зависимости от цели разделение множества объектов на подмножества будет разным [1].

Вторым этапом ABC-анализа является идентификация объектов управления. Одну и ту же задачу можно решать при помощи воздействия на различные объекты управления, конечно, наибольший результат даст комплексное воздействие.

На третьем этапе необходимо выделить признак, на основе которого будет происходить дифференциация выбранных для анализа объектов, т. е. критерий классификации. Ассортиментные позиции можно структурировать по объёму продаж (в ценовом или количественном выражении), доходу, величине остатка на складе, скорости оборота запаса и т. п.

На четвертом шаге алгоритма каждый из объектов оценивается по намеченному признаку и осуществляется группировка объектов управления в порядке убывания или возрастания выделенного признака, так чтобы наиболее значимые позиции находились в верхней части упорядоченного списка.

Графически результат упорядочения и ранжирования объектов можно представить в виде кривой ABC в координатной плоскости (рис. 1).

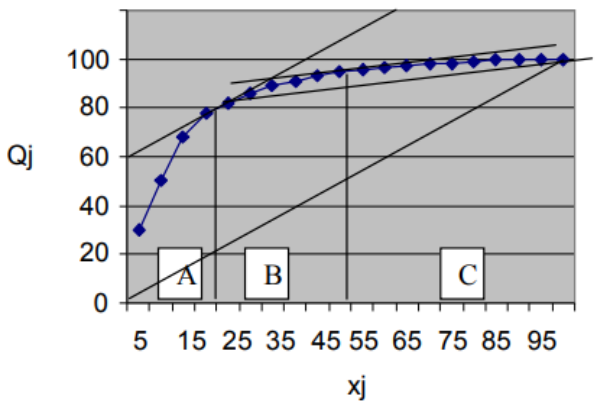


Рис. 1. Метод касательных

Пятым этапом алгоритма является разделение объектов анализа на группы A, B и C. Для этого определяются точки (x_A, Q_A) и (x_{A+B}, Q_{A+B}), соответствующие границам групп. К группе A относятся позиции j, для которых $Q_j \leq Q_A$, т. е.:

$$j \leq \frac{n}{100} \cdot x_A, \tag{1}$$

к группе B – товары j, для которых $Q_A < Q_j \leq Q_{A+B}$:

$$\frac{n}{100} \cdot x_A < j \leq \frac{n}{100} \cdot x_{A+B}, \tag{2}$$

остальные объекты составляют группу C.

На последнем шаге алгоритма проведения ABC-анализа полученные результаты интерпретируются, в соответствии с поставленной на первом этапе задачей вырабатываются рекомендации по управлению выделенными номенклатурными группами.

Группа A представляет собой детали, узлы и агрегаты, обладающие высоким спросом на данном пункте обслуживания и ремонта. В зависимости от предприятия доля таких запчастей из общей номенклатуры составляет от 10 до 20 %. Подразумевается, что детали из данного перечня наиболее часто отказывают и поэтому требуется постоянное их наличие на складе предприятия. Эта группа деталей позволяет устранить большую часть возникающих неисправностей, а стоимость этих деталей может достигать 75–85 % от общей стоимости всей номенклатуры запасных частей, потребляемых предприятием автомобильного сервиса.

Группа B объединяет детали, узлы и агрегаты среднего спроса. В неё отнесены около 30 % всей номенклатуры запчастей. Стоимость этой части не превышает 30 % от общей стоимости всей номенклатуры запчастей, потребляемой предприятием автомобильного сервиса.

В группу C внесены детали редкого спроса, это около 60 % общей номенклатуры запасных частей. Как правило, стоимость этих частей не превышает 7 % от общей стоимости всей номенклатуры запчастей, потребляемой предприятием.

Распределение запасных частей по группам основывается на показателях статистики их расхода за предыдущий отчётный период. Также учитываются следующие показатели: текущий показатель спроса на каждую номенклатуру и характер её движения в условиях существующей системы материально-технического обеспечения [2].

Анализ XYZ является дополнением к классификации методом ABC и предусматривает деление запасов на три группы в зависимости от степени равномерности спроса и точности прогнозирования [1].

Для каждой позиции номенклатуры анализируются показатели спроса x_t, представленные, как правило, в виде динамического ряда.

В группу X включают товары, спрос на которые равномерен, либо подвержен незначительным колебаниям. Объем реализации по товарам, включенным в данную группу, хорошо предсказуем.

К группе Y относят позиции ассортимента, которые потребляются в колеблющихся объёмах. В частности, товары с сезонным характером спроса. Возможности прогнозирования спроса по товарам группы Y средние.

Товары группы Z характеризуются эпизодически возникающим спросом, поэтому получить точные и достоверные прогнозные оценки сложно.

Признаком, на основе которого конкретную позицию ассортимента относят к группе X, Y или Z, является коэффициент вариации спроса по этой позиции:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%, \tag{3}$$

среднее значение ряда:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum x_t, \tag{4}$$

Среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_t - \bar{x})^2}{n}}, \tag{5}$$

где n – длина ряда.

Процедура XYZ-разбиение заключается в сравнении коэффициента вариации каждой позиции со значениями, определяющими границы групп. Классический принцип классификации подразумевает, что к группе X относятся объекты, для которых $V < 10$ %. Такой высокой стабильностью спроса могут обладать, например, материальные ресурсы, обеспечивающие производственный процесс. В группу Y выделяют позиции, коэффициент вариации которых лежит в пределах от 10 % до 25 %, соответственно товары, для которых $V > 25$ %, относятся к группе Z.

Для учёта особенностей конкретного бизнеса классические границы классификации могут быть изменены, например, могут быть приняты границы группы Y от 15–20 % до 40–45 %, возможно использовании экспертных оценок.

Кроме того, в основе выделения групп может лежать среднее значение коэффициента вариации $V_{\text{ср}}$, к группе X тогда относят номенклатуры с $V > V_{\text{ср}}$.

Таким образом, общий алгоритм проведения анализа XYZ следующий:

1) определить коэффициенты вариации по отдельным позициям ассортимента;

2) упорядочить объекты управления в порядке возрастания коэффициентов вариации;

3) разделить совокупность объектов управления на группы.

Как и при проведении АВС-анализа, может быть построена кривая XYZ (рис. 2), по оси абсцисс откладывают позиции ассортимента в порядке возрастания коэффициента вариации спроса.

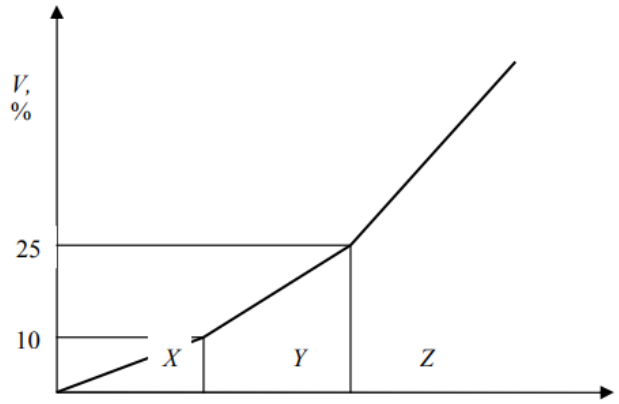


Рис. 2. XYZ-анализ

Применение XYZ-анализа имеет ряд существенных ограничений. Во-первых, необходим достаточный объем исходных данных (число исследуемых периодов не меньше трех). Во-вторых, XYZ-анализ неинформативен в случае динамично меняющейся ситуации, например, при выводе на рынок нового товара. На результат расчетов может серьезно повлиять сезонность, поскольку товар, приобретенный заранее на случай повышения сезонного спроса, попадет в категорию Z из-за скачков продаж.

Поскольку запасы группы X характеризуются высокой стабильностью спроса, возможна реализация стратегия их минимизации на основе налаживания взаимодействия звеньев логистической цепи и усиления тем самым согласованности характеристик поставки и потребления.

Спрос на запасы группы Y, как правило, имеет явно выраженную тенденцию или сезонные колебания. Рекомендуется оптимизировать данные запасы с целью обеспечения заданного уровень обслуживания потребителей при минимуме совокупных затрат.

Прогноз потребности номенклатурных позиций группы Z невозможен, следовательно, оптимизационный подход к управлению запасами непригоден и необходимо определить, целесообразно ли их сокращать или, напротив, максимизировать.

В результате объединения ABC- и XYZ-анализов получают матрицу – таблицу из девяти категорий товаров, отранжированные в четыре группы в зависимости от прибыли и стабильности спроса. По каждой группе можно предложить свою тактику продвижения и продаж. Пример матрицы ABCxyz показан на рис. 3.

	X	Y	Z
A	AX	AY	AZ
B	BX	BY	BZ
C	CX	CY	CZ

Рис. 3. Пример матрицы ABCxyz

1. Зелёная группа – самые прибыльные товары, стоит сосредоточить усилия на их продвижении и продажах

2. Жёлтая группа – категории товаров, требующие дополнительного анализа: нужно понять почему спрос на эти товары нестабилен.

3. Серая группа – товары, от которых не стоит отказываться, но при этом надо тратить минимум усилий.

4. Красная группа – товары, в которые невыгодно инвестировать.

Товары из групп AX и BX обеспечивают основной доход и при этом стабильно продаются. Они всегда должны быть на складе. Необходимый запас легко спрогнозировать, так как объёмы продаж почти не меняются от месяца к месяцу [3].

Группы AY и BY – это товары, обеспечивающие высокий доход, но их стабильность продаж ниже. По этим товарам на складе необходимо создавать дополнительные резервы, на случай роста спроса в отдельные периоды.

Группы AZ и BZ тоже приносят существенный доход, но спрос на них почти невозможно спрогнозировать. Если создавать запасы на складе, исходя из максимально возможной месячной выручки, то значительная часть товара может остаться непроданной, т. е. появятся нецелесообразные издержки на хранение. Поэтому лучше использовать другие способы, которые обеспечат нужное количество товара. Например, заключить договоры с поставщиками, которые находятся максимально близко от СТО и могут в любой момент привезти нужную партию.

Группа CX продаётся стабильно, но в небольших объёмах. По этой позиции нужно создавать постоянный запас, исходя из среднего объёма продаж.

Группа CY – небольшие объёмы продаж и невысокая стабильность. Запасы этой группы нужно создавать по остаточному принципу, т. е. после того, как выделены средства на закупку товаров из более выгодных групп.

Даже если в какой-то момент товара из этой группы не окажется в наличии, то потери компании будут невелики.

Группа CZ – самые низкие объёмы выручки, при этом спрос невозможно спрогнозировать. Сюда относятся товары, которые уже перестали пользоваться спросом. Запасы по этой категории обычно не создают, работают под заказ. Также в эту группу могут попасть товары-новинки.

Список источников

1. Тюхтина А. А. Модели управления запасами : учеб.-метод. пособие. Нижний Новгород : Нижегородский госуниверситет, 2017. 84 с.

2. Пронштейн М. Я., Таржибаев А. А., Кривенко Е. И. Исследование потребности в запасных частях для автомобилей, принадлежащих населению // Конструкция автомобилей. М. : НИИ Автопром, 1976.

3 ABC-XYZ-анализ: как выделить самые «ходовые» товары» [Электронный ресурс]. URL: https://clck.ru/35i3go.

УДК 621.43.056

АНАЛИЗ СТОИМОСТИ ВЛАДЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ С РАЗЛИЧНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ

С. В. Мальчиков[1], С. В. Лежиков[2], Н. В. Шадрин[3]

[1, 2, 3]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[2]slezhikov-ft18@stud.sfu-kras.ru

Автомобильный транспорт в настоящее время является неотъемлемой частью жизни населения. Это наиболее удобный, достаточно быстрый и самый распространенный способ передвижения. Также он является самым востребованным транспортом практически во всех сферах деятельности.

На сегодняшний день в серийном производстве имеется несколько типов автомобильных силовых установок: электрическая, гибридная, дизельная и бензиновая. Целью данной работы является определение затрат на эксплуатацию однотипных автомобилей, оснащенных различными силовыми установками.

От выбора типа силовой установки будут зависеть не только потребление топлива, но и эксплуатационные расходы.

В расчёте рассматриваются четыре типа автомобилей одного класса с различной силовой установкой: Nissan Leaf – электромобиль; Nissan Note – гибрид; Nissan Tiida – бензин; Nissan Sunny – дизель.

Расходы на эксплуатацию АТС складываются из нескольких групп: затраты на получение допуска АТС к эксплуатации; затраты на ГСМ и рабочие жидкости; затраты на компоненты с ограниченным сроком службы; затраты на техническое обслуживание и ремонт; затраты на дополнительное оснащение; прочие затраты [5, 6].

Статьи затрат на получение допуска АТС к эксплуатации – это обучение водителя ПДД; уплата пошлины за получение соответствующих документов; регистрации автомобиля в органах ГИБДД; обязательное страхование; прохождение технического осмотра автомобиля [2, 3].

Затраты на горюче-смазочные материалы и рабочие жидкости складывается из расходов на топливо и масло для двигателя, трансмиссионные масла, а также рабочие жидкости, в т. ч. тормозную жидкость, жидкость гидроусилителя рулевого управления, охлаждающую жидкость двигателя, хладагент кондиционера и пр. [2, 4, 6, 7]

© Мальчиков С. В., Лежиков С. В., Шадрин Н. В., 2024

Затраты на компоненты с ограниченным сроком службы определяются их составом и программой ТО в соответствии с рекомендациями производителя АТС и ресурсом компонентов.

Все виды работ по ТО и Р, выполняемых на АТС, могут быть связаны с соответствующими затратами на оплату услуг предприятий по ТО и Р. Эти затраты определяются трудоёмкостью выполняемых работ и зависят от стоимости труда, установленной на ремонтном предприятии [2, 4, 7].

В процессе эксплуатации АТС могут быть оправданы расходы на некоторые необязательное дополнительное оснащение, рекомендуемое на основе опыта эксплуатации, в состав которого в зависимости от предпочтений владельца АТС могут входить такие компоненты, как охранная сигнализация, аварийный технический комплект, запасное колесо, магнитола и т. д. [2]

К прочим затратам относятся все виды затрат, связанных с владением АТС, не учтенные в описанных ранее группах расходов, например расходы на хранение АТС и его компонентов, расходы на мойку и сезонные работы по уходу за кузовом [2].

Анализ расходов на эксплуатацию транспортного средства представлен в табл. 1. Данный анализ рассчитывался по ценам на ГСМ и тарифам на топливо (электроэнергию) 2022 г.

В результате проведенных расчётов установлено, что самый выгодный в эксплуатации – электромобиль, имеющий наименьшие затраты на эксплуатацию: 2,92 руб. для 100 тыс. км.

Общие затраты на эксплуатацию автомобилей составили:

– электромобиль – 291 997,67 руб.;

– гибридный автомобиль – 665 885,22 руб.;

– автомобиль с бензиновым двигателем – 850 930,35 руб.;

– автомобиль с дизельным двигателем – 918 427,82 руб.

На рис. 1 показано соотношение стоимости эксплуатации различных типов автомобилей. Так, 1 километр эксплуатации для 100 тыс. км получился:

– 2,92 руб. для электромобиля;

– 6,66 руб. для гибридного автомобиля;

– 8,51 руб. для бензинового автомобиля;

– 9,18 руб. для дизельного автомобиля.

Высокая стоимость эксплуатации для автомобиля с дизельным двигателем обуславливается более трудоемким и более дорогостоящим техническим обслуживанием и ремонтом, в сравнении с другими типами автомобилей.

Таблица 1

Значения расходов на эксплуатацию АТС

Параметр	Обозначение	Марка автомобиля			
		Nissan Leaf	Nissan Note	Nissan Tiida	Nissan Sunny
100 000 км					
Расходы на топливо	$Р_{т}$	50 274,00	152 343,45	404 176,50	310 905,00
Расходы на рабочие жидкости (моторное масло)	$Р_{jм}$	0,00	20 928,60	27 270,60	25 685,10
Расходы на рабочие жидкости	$Р_{j}$	47 321,40	94 082,42	93 397,50	1 526 868,00
Расходы на компоненты с ограниченным сроком службы	$Р_{косс}$	37 333,10	39 128,25	62683,25	59 081,75
Затраты на техническое обслуживание	$Р_{то}$	41 666,67	250 000,00	160 000,00	266 666,67
Затраты на дополнительное оснащение	$Р_{до}$	46 700,00	40 700,00	34 700,00	34 700,00
Прочие затраты	$Р_{хр}$	9 450,00	9 450,00	9 450,00	9 450,00
	$Р_{м}$	4 252,50	4 252,50	4 252,50	4 252,50
Общая стоимость затрат	$Р_{общ}$	291 997,67	665 885,22	850 930,35	918 427,82
Стоимость 1 км эксплуатации	$Р_{1 км}$	2,92	6,66	8,51	9,18

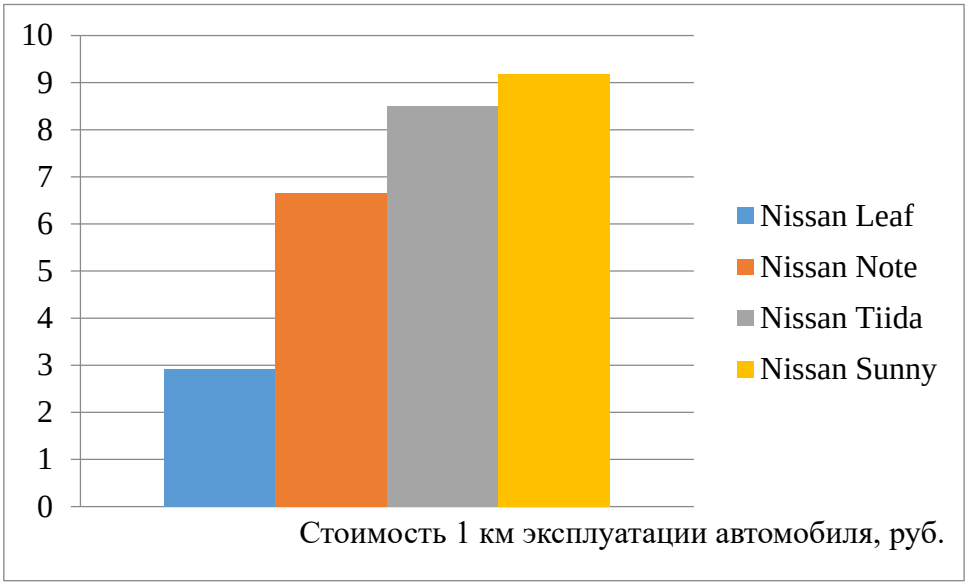


Рис. 1. Стоимость 1 км эксплуатации различных типов автомобилей

Список источников

1. Гулиа Н. В., Юрков С. А. Новая концепция электромобиля // Автомобильная промышленность. 2000. № 2. С. 14–17.

2. Зобнин В. А. Расчёт и оптимизация стоимости владения легковым автомобилем в некоммерческой эксплуатации. М., 2012, 74 с.

3. Информационно-поисковая система // Федеральный институт промышленной собственности : официальный сайт. 2022. URL: https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema.

4. Пополов А. Индивидуальный электротранспорт XXI века // Наука и жизнь. 2001. № 8.

5. Постников Д. Электромобиль: «за» и «против» // За рулем : сайт. URL: https://www.zr.ru/content/articles/3660-elektromobil_za_i_protiv.

6. Серафимов А. М. Исследование влияния альтернативных источников энергии автомобиля на технико-экономические показатели. М., 2008. 155 с.

7. Электрический и гибридный автотранспорт в мире : информационная справка // Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации.

УДК 658.5

АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ ПО ОЦЕНКЕ СЛОЖНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ

Д. А. Морозов[1], Е. В. Трубач[2]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]dmorozov@sfu-kras.ru

В каждой отрасли сложность работы может иметь свои особенности и факторы, влияющие на ее определение. Она имеет свои специфические задачи и требования, поэтому оценка сложности работы может различаться. Важно учитывать контекст и конкретные задачи при оценке сложности работы. Такое определение позволит помочь работодателям лучше понять требования и ожидания, связанные с конкретной работой. Существуют такие методики и подходы, как оценка времени выполнения задач, метод итеративных процессов, анализ и оптимизация бизнес-процессов, функция взаимосвязи между элементами систем, теория сложности информации, автоматизация процессов и т. д. Данные инструменты позволяют сократить непроизводственные потери времени, управлять рациональным составом рабочих, что способствует снижению затрат на воспроизводство и поддержание необходимого количества сотрудников, и повысить рентабельность предприятия в целом.

Каждая отрасль имеет свои уникальные особенности, а подходы к определению сложности работы могут различаться в зависимости от контекста и специфики отрасли, в данной статье представлены некоторые из них.

1. Методика PERT (Program Evaluation and Review Technique). Позволяет оценить время выполнения задачи и определить окончательный путь в проекте.

2. Гибкий подход, основанный на гибкости и итеративности, позволяет быстро реагировать на изменения и добиваться результатов в кратчайшие сроки.

3. Методика BPM (Управление бизнес-процессами) предоставляет инструменты для анализа, анализа и оптимизации бизнес-процессов.

4. Теория системного аудита рассматривает функцию работы как функцию взаимодействия между элементами систем и их взаимосвязями.

5. Теория сложности информации основывается на количестве информации, необходимом для выполнения работы.

© Морозов Д. А., Трубач Е. В., 2024

6. В отрасли, связанной с информационными технологиями, широко используются методы RPA (роботизированная автоматизация процессов) для автоматизации рутинных задач.

Рассмотрим специфику оценки сложности выполнения работ на конкретных примерах.

Алгоритмы и программирование: в этой отрасли оценка сложности работы может быть связана с выбором и реализацией эффективных алгоритмов. Оценка сложности может включать анализ времени выполнения и использования ресурсов, таких как память и процессорное время. Примеры оценки сложности включают O (1), O (log n), O (n), O (n log n), O (n^2) и т. д.

Компьютерная графика: в этой отрасли оценка сложности работы может быть связана с рендерингом графики, обработкой изображений и созданием визуальных эффектов. Оценка сложности может включать анализ времени выполнения и требований к вычислительным ресурсам. Примеры оценки сложности включают O (n), O (n^2), O (n^3) и т. д., где n – количество пикселей или объектов.

Базы данных: в этой отрасли оценка сложности работы может быть связана с выполнением запросов, индексированием данных и обработкой транзакций. Оценка сложности может включать анализ времени выполнения запросов и использования ресурсов хранения данных. Примеры оценки сложности включают O (log n), O (n), O (n log n) и т. д., где n – количество записей в базе данных.

Машинное обучение: в этой отрасли оценка сложности работы может быть связана с обучением моделей, классификацией данных и прогнозированием. Оценка сложности может включать анализ времени выполнения обучения и предсказания, а также требования к вычислительным ресурсам. Примеры оценки сложности включают O (n), O (n^2), O (n^3) и т. д., где n – количество образцов или признаков.

Оценка сложности выполнения работ в медицине может быть связана с различными аспектами, включая сложность процедур, диагностических тестов, хирургических вмешательств и т. д.

Оценка сложности может основываться на следующих факторах.

Техническая сложность: в медицине могут быть процедуры, требующие сложных технических навыков и специализированного оборудования. Например, сложные хирургические операции или процедуры, требующие точного манипулирования инструментами.

Медицинская сложность: некоторые медицинские услуги могут быть сложными из-за особенностей пациента или наличия осложнений. Например, лечение пациентов с множественными сопутствующими заболеваниями или тяжелыми состояниями может быть более сложным.

Временная сложность: некоторые процедуры или лечебные курсы могут требовать продолжительного времени для выполнения или наблю-

дения. Например, длительные операции или длительные курсы лечения хронических заболеваний.

Этическая сложность: в медицине могут возникать этические дилеммы или сложности, связанные с принятием решений, например, при принятии решения о проведении сложной операции или применении новых методов лечения.

Оценка сложности выполнения работ в медицине может быть субъективной и зависит от конкретных условий и контекста. Она может помочь в планировании и организации медицинских услуг, а также в принятии решений о распределении ресурсов и определении приоритетов.

В строительстве сложные работы могут быть связаны с масштабом проекта, наличием сложных инженерных систем или особенностями местности, а также с проектированием и строительством высотных зданий или мостов.

Определение сложности работ в автомобильной отрасли важно для планирования и управления проектами, оценки ресурсов и времени, необходимых для выполнения работ, а также для обеспечения качества и безопасности автомобилей. Сложность работ может быть определена на основе различных факторов, таких как техническая сложность автомобильных систем и компонентов, требования к безопасности и соответствию нормативным требованиям, необходимость проведения специализированных тестов и испытаний, сложность взаимодействия с другими системами и компонентами автомобиля, уровень сложности и объем работ по сборке, монтажу или ремонту автомобилей.

Список источников

1. Волкова В. Н. Системный анализ и принятие решений : словарь-справочник. М. : Высшая школа, 2004. С. 601

2. Гасанов Э. Э. Теория сложности информационного поиска : учеб. пособие. М. : МГУ имени М. В. Ломоносова, 2005. С. 144.

3. Арабян К. К. Теория аудита и концептуальные основы развития [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/teoriya-audita-i-kontseptualnye-osnovy-razvitiya-auditorskoy-deyatelnosti.

4. Голосовский М. С. Модели и алгоритмы управления процессом разработки программного обеспечения информационных систем : автореф. дис. … канд. наук. М., 2019. 123 с.

5. Озерова И. Г. Метод процессного управления предприятием на основе программных систем управления бизнес-процессами : автореф. дис. … канд. тех. наук. Томск, 2007. 171 с.

6. Волков А. Т. Показатели оценки инновационной активности и сложности их определения [Электронный документ]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/pokazateli-otsenki-innovatsionnoy-aktivnosti-i-slozhnosti-ih-opredeleniya.

7. Westhorp G. using complexity-consistent theory for evaluating complex systems // evaluation. 2012. Vol. 18, N 4. P. 405–420.

УДК 621.867.2:681.532.58

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЯ ДАТЧИКА СИСТЕМЫ АВАРИЙНОГО ОСТАНОВА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Д. Н. Николаева[1], Л. Н. Горбунова[2]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]skynikk77@gmail.com, [2]lngorbunova@sfu-kras.ru

Одним из эффективных способов снижения производственного травматизма, связанного с эксплуатацией ленточных конвейеров, и повышения безопасности является применение системы аварийного останова, обеспечивающей автоматическое отключение и торможение рабочих органов конвейера при появлении человека в опасной зоне. Система аварийного останова включает:

– датчик, подающий сигнал на отключение привода и включение тормоза конвейера;

– электроаппаратуру, которая по сигналу датчика выключает привод конвейера и включает тормоз;

– тормоз конвейера (обычно колодочный или какой-либо другой фрикционный).

Эффективность применения системы аварийного останова ленточного конвейера определяется временем ее срабатывания, т. е. временем от момента подачи сигнала датчиком до окончания остановки конвейера:

$$t_{\text{С}} = t_{\text{Д}} + t_{\text{А}} + t_{\text{Т}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{Д}}$ – время срабатывания датчика; $t_{\text{А}}$ – время срабатывания электроаппаратуры управления тормозом; $t_{\text{Т}}$ – время торможения от момента включения тормоза до полной остановки конвейера.

Очевидно, что среднее время останова конвейера составит:

$$t_{\text{ССР}} = t_{\text{ДСР}} + t_{\text{АСР}} + t_{\text{ТСР}}. \quad (2)$$

Композиция закона нормального распределения времени срабатывания датчика $t_{\text{ДА}}$ и электроаппаратуры управления тормозом и закона равномерного распределения времени торможения $t_{\text{Т}}$ конвейера, согласно формулам (1) и (2), можно описать выражением:

© Николаева Д. Н., Горбунова Л. Н., 2024

$$P(t_{\text{С}}) = \int P(t_{\text{ДА}}) \cdot P(t_T = t_{\text{С}} - t_{\text{ДА}}) \cdot d(t_{\text{ДА}}), \quad (3)$$

где $P(t_{\text{С}})$ – плотность вероятности значений $t_{\text{С}}$ суммарного времени срабатывания системы аварийного останова конвейера; $P(t_{\text{ДА}})$ – плотность вероятности значений $t_{\text{ДА}}$ срабатывания датчика и электроаппаратуры управления тормозом; $P(t_{\text{Т}})$ – плотность вероятности значений $t_{\text{Т}}$ времени торможения конвейера до полной остановки.

В связи с этим среднее квадратическое отклонение значений $t_{\text{Т}}$ от $t_{\text{ССР}}$ будет равно:

$$\sigma_{tC} = \left[(\sigma_{t\text{Д}})^2 + (\sigma_{tA})^2 + (\sigma_{tT})^2\right]^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

а максимальное отклонение $t_{\text{Т}}$ от $t_{\text{ССР}}$ при доверительной вероятности 0,997 составит:

$$\Delta t_C = 3[\left(\sigma_{t\text{ДА}}\right)^2 + (\sigma_{t\text{А}})^2]^{\frac{1}{2}} + 3^{\frac{1}{2}} \cdot \sigma_{tT}. \quad (5)$$

Отсюда уточненное значение $t_{\text{Т}}$ с учетом случайного разброса времени датчика и электроаппаратуры управления тормозом и времени торможения конвейера до полной остановки:

$$t_{\text{СУ}} = t_{\text{ССР}} + 3^{\frac{1}{2}}\left\{\left[3\left(\sigma_{t\text{ДА}}\right)^2 + (\sigma_{t\text{А}})^2\right]^{\frac{1}{2}} + \sigma_{tT}\right\}. \quad (6)$$

Ясно, что во избежание несчастного случая время движения человека $t_{\text{ЧЕЛ}}$ или его органа, который может быть травмирован, от датчика системы аварийного останова до опасной зоны должно подчиняться условию:

$$t_{\text{ЧЕЛ}} > t_{\text{СУ}}. \quad (7)$$

Время движения человека или его органа, который может быть травмирован, можно представить как:

$$t_{\text{ЧЕЛ}} = \frac{S}{V_{\text{ЧЕЛ}}}, \quad (8)$$

где S – расстояние датчика от опасной зоны; $\text{V}_{\text{ЧЕЛ}}$ – максимальная скорость движения человека или его органа, например, руки мимо датчика в опасной зоне.

С учетом этого, расстояние датчика от опасной зоны должно удовлетворять условию:

$$S > V_{\text{ЧЕЛ}} \cdot t_{\text{ССР}} + 3^{\frac{1}{2}}\left\{\left[3\left(\sigma_{t\text{ДА}}\right)^2 + (\sigma_{t\text{А}})^2\right]^{\frac{1}{2}} + \sigma_{tT}\right\}. \quad (9)$$

Полученное выражение на основании априорно известных данных (приведенных в справочной литературе) о среднем времени срабатывания датчиков, электроаппаратуры управления тормозом и тормозов различных типов нетрудно рассчитать методами, описанными в [3], а также по данным о стабильности этих устройств, дает возможность установить датчик системы аварийного останова конвейера без проведения экспериментов в каждом конкретном случае. Оно также позволяет определять расстояние датчика от опасной зоны на стадии проектирования системы аварийного останова. В последнем случае появляется возможность более обоснованного выбора элементов системы аварийного останова ленточного конвейера с учетом степени их влияния на величину *S*.

Следует отметить, что для упрощения расчетов допустимо считать, что скорость движения человека или его органа $V_{\text{ЧЕЛ}}$, как правило, не превышает 1 м/с, σ_{tT} обычно бывает не более 0,08 с, $\sigma_{tД}$ – не более 0,01 с, а σ_{tA} – не более 0,05 с. При таких данных и отсчете $t_{\text{ССР}}$ в секундах расстояние датчика от опасной зоны составит:

$$S > t_{\text{ССР}} + 0{,}20 \text{ м}. \qquad (10)$$

Для точного определения места установки датчика, все величины, входящие в уравнение, следует рассматривать как случайные, независимые, описываемые своими законами распределения. Согласно [1], ток срабатывания датчика и электроаппаратуры управления тормозом подчиняется закону нормального распределения. Поскольку ток срабатывания и время срабатывания связаны между собой функциональной зависимостью, то можно полагать, что и время срабатывания также будет распределено по нормальному закону.

Закон распределения времени t_T по аналогии зачастую также считают нормальным, однако в работах [3, 4] показывается, что закон распределения вероятностей тормозного пути при воздействии сил трения равномерный. Это позволяет предполагать, что и время t_T распределено равномерно.

Список источников

1. Солонин И. С. Математическая статистика в технологии машиностроения. М. : Машиностроение, 1972.

2. Витенберг М. И. Расчет электромагнитных реле. М. : Госэнергоиздат, 1981.

3. Спиваковский А. О., Дьячков В. К. Транспортирующие машины. М. : Машиностроение, 1978.

4. Новицкий П. П. Основы информационной теории измерительных устройств. Л. : Энергия, 1988.

УДК 656

МОНИТОРИНГ СПРОСА ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ДАННЫХ ВАЛИДАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРОЕЗДНЫХ БИЛЕТОВ

А. И. Фадеев[1], С. Алхуссейни[2]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]9135335784@mail.ru

Системы общественного транспорта играют фундаментальную роль в развитии любого города. Чтобы эффективно способствовать использованию общественного транспорта (в отличие от частного транспорта), крайне важно понимать процесс принятия решений пассажирами общественного транспорта, а также их предпочтения и восприятие.

В системе общественного транспорта решения о поездках принимаются на двух уровнях:

а) выбор вида общественного транспорта (автобус, метро, трамвай, мультимодальные поездки и т. д.);

б) выбор маршрута путешествия (выбор линий общественного транспорта и пересадочных пунктов по пути следования).

Ключевым элементом при моделировании выбора пассажиром маршрутов в системах общественного транспорта является знание пункта отправления и назначения каждой поездки. В этом смысле данные электронных билетов предоставляют важную информацию о выполнении каждого этапа поездки, особенно в системах, где сосуществуют различные технологии оплаты. Данные о пунктах назначения, как правило, недоступны, поскольку системы общественного транспорта с фиксированными тарифами требуют, чтобы пассажир фиксировал поездку один раз при выполнении операции валидации электронного билета.

Таким образом, данных электронного билета во многих случаях недостаточно для моделирования поездок пассажиров в системах общественного транспорта, необходимы дополнительные методы моделирования и/или обработки данных. Эти методы могут потребовать объединения различных источников данных (например, данных электронного билета

© Фадеев А. И., Алхуссейни С., 2024

совместно треками GPS), применения математических моделей для определения пунктов назначения [1].

Чтобы понять траекторию движения пассажира, часто бывает полезно сопоставить время и место валидации электронного билета со временем и местоположением транспортного средства. Такое сопоставление может быть выполнено с помощью некоторой дополнительной обработки данных автоматического определения местоположения транспортных средств (AVL), которые фиксируют географические координаты и временные метки движения транспортных средств по заданному маршруту [2–4]. Для этого сопоставления также требуется общая временная и пространственная привязка между электронным билетом и системами AVL.

Валидации электронного билета обычно достаточно, чтобы определить место отправления и время начала отрезка пути.

Самый распространенный метод определения пункта назначения и времени прибытия использует понятие «цепочка поездок» (рис. 1), описывающее последовательность этапов перемещения пассажира в течение одного дня.

Цепочка предполагает, что пункт назначения одного участка пути находится недалеко от начала следующего участка пути, а пункт назначения последнего участка пути в цепочке находится недалеко от начала первого участка пути.

Предположение о цепочке основано на том, что ни одна поездка во время тура не совершается другим способом или видом транспорта, в которых не используются электронные проездные билеты. Логично, что тур требует, чтобы человек совершил как минимум две поездки. (*Тур* (tour) – последовательность (цепочка) поездок, начинающихся и заканчивающихся в одном и том же месте, в отличие от цепочки поездок (trip chain), которая может не заканчиваться в одном и том же месте.)

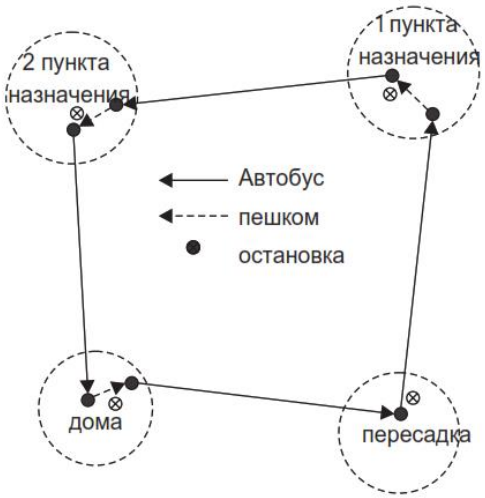


Рис. 1. Схема цепочек поездок

Общие допущения в иностранных источниках для модели цепочки поездок включают:

1) пункт назначения последней поездки тура идентичен исходному пункту первой поездки;

2) пассажиры, как правило, выбирают наиболее прямой пешеходный маршрут, измеряемый временем, расстоянием или каким-либо обобщенным временем или стоимостью;

3) пассажиры используют первую подходящую услугу (транспортное средство) после прибытия на остановку.

Практический опыт доказал, что оплата проезда может быть в любом месте маршрута, а не обязательно сразу же после посадки в транспортное средство. В результате возникает множество допустимых вариантов связанности последовательности пассажирских поездок, как показано на рис. 2.

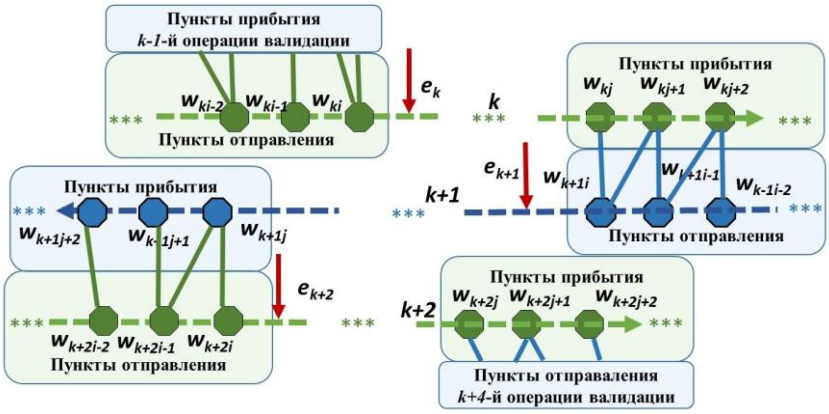


Рис. 2. Варианты пассажирских корреспонденций

Определение и оценка множества допустимых вариантов связанности последовательности пассажирских поездок посредством критерия, формируемого из вектора оценочных показателей, позволяет рассчитывать параметры пассажирских корреспонденций с учетом множества факторов, оказывающих влияние на выбор пассажиром маршрутов поездок [5].

Для достижения этого было разработано программное обеспечение, состоящее из следующих разделов:

– формирование фактической траектории движения транспортных средств через остановочные пункты обслуживаемого маршрута;

– определение допустимых вариантов связности пунктов завершения текущей поездки с пунктами начала следующей поездки;

– расчет оценочных показателей;

– расчет пассажирских корреспонденций;

– расчет коэффициентов балансировки для учета неинтерпретированных пассажирских корреспонденций;

– расчет сетевых пассажирских корреспонденций.

Требовалось также оценить соответствие выборочной совокупности поездок, полученных из операций валидации электронных билетов, генеральному множеству пассажирских корреспонденций. Возможно, что структура пассажиров, оплачивающих поездки электронными билетами, отличается от пассажиров генеральной совокупности. Например, наверное, электронными билетами в меньшей степени пользуются приезжие пассажиры.

Для решения данной задачи разработана методика, основанная на сравнении распределения по длине маршрута количества входящих и выходящих пассажиров, полученных из валидаций электронных билетов и выборочного обследования пассажирских потоков. В результате статистического анализа установлено (табл. 1), что пассажирские корреспонденции, полученные из операций валидации электронных проездных билетов, позволяют осуществить оценку характеристик генеральной совокупности пассажирских потоков в пределах допустимых погрешностей.

Таблица 1

Результаты обработки операций валидаций электронных проездных билетов

День месяца	Обработано валидаций		
	Всего	Интерпретировано	
		Кол-во	Уд. вес, %
1	238 789	155 108	65,0
2	253 128	165 786	65,5
3	250 250	166 549	66,6
4	253 132	165 500	65,4
5	252 721	162 598	64,3
6	164 948	102 695	62,3
7	124 539	76 973	61,8
8	238 016	156 684	65,8
9	248 460	164 200	66,1
10	247 446	162 488	65,7
11	247 844	163 103	65,8
12	242 969	158 524	65,2
13	155 113	101 240	65,3
14	116 213	75 782	65,2
15	238 363	155 781	65,4
16	255 730	166 747	65,2
17	257 936	168 661	65,4
18	239 022	156 908	65,6
19	232 266	149 298	64,3

Окончание табл. 1

День месяца	Обработано валидаций		
	Всего	Интерпретировано	
		Кол-во	Уд. вес, %
20	160 447	102 516	63,9
21	129 981	85 938	66,1
22	241 130	157 424	65,3
23	259 047	166 277	64,2
24	235 845	153 254	65,0
25	243 887	158 725	65,1
26	235 609	149 348	63,4
27	139 348	86 398	62,0
28	116 055	69 318	59,7
29	216 090	126 819	58,7
30	231 156	85 910	37,2
∑	6 465 480	4 116 552	63,7

Расчеты осуществлялись с использованием данных валидаций электронных проездных билетов городского пассажирского транспорта города Красноярска за октябрь 2019 г.

Список источников

1. Munizaga, M.A. and Palma, C. 2012. Estimation of disaggregate multimodal public transport origin–destination matrix from passive smart card data from Santiago, Chile. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 24, pp. 9-18.

2. Barry, J., Newhouser, R., Rahbee, A. and Sayeda, S. 2002. Origin and destination estimation in New York City with automated fare system data. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (1817), pp. 183–187.

3. Zhao, J. 2004. The planning and analysis implications of automated data collection systems: rail transit OD matrix inference and path choice modeling examples. (MS Thesis, Massachusetts Institute of Technology).

4. Zhao, J., Rahbee, A. and Wilson, N.H.M. 2007. Estimating a rail passenger trip origin- destination matrix using automatic data collection systems. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 22(5), pp. 376–387.

5. Fadeev, A. I., Alhusseini, S. (2023) “Determination of Urban Public Transport Demand by Processing Electronic Travel Ticket Data”, Periodica Polytechnica Transportation Engineering. https://doi.org/10.3311/PPtr.21447.

УДК 656

О ВОЗМОЖНОСТИ ВЛИЯНИЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СКОРОСТИ СООБЩЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА НА СПРОС У ЖИТЕЛЕЙ ГОРОДА

Е. В. Фомин[1], А. А. Майер[2]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[2]amayer.gt@mail.ru

В реальных условиях городской среды, когда на скорость транспортного средства не оказывают влияния другие транспортные средства, транспортное средство только короткое расстояние может ехать с максимальной для него скоростью. Помимо метеорологических и дорожных условий на скорость движения транспортных средств будут влиять и различные элементы инфраструктуры. Для рассмотрения вопроса о влиянии элементов инфраструктуры на скорость движения наиболее показателен будет общественный транспорт, прежде за счет того, что его мгновенную скорость можно отследить. Общественный транспорт в г. Красноярске делится на три вида: автобус, троллейбус и трамвай, при этом средняя скорость движения троллейбусов и трамваев ниже скорости движения автобусов.

Предполагается, что на скорость движения всех трех видов транспорта будут оказывать влияние следующие элементы инфраструктуры:

– регулируемые и нерегулируемые перекрестки различных конфигураций (Т-образные, Х-образные, кольцевые и т. д.);
– регулируемые и нерегулируемые пешеходные переходы;
– слияния и разветвления проезжих частей;
– дворовые проезды;
– остановочные пункты (с заездными карманами и без);
– наличие прилегающей территории (АЗС, парковки и т.д.);
– возможность парковки на крайней правой полосе;
– наличие выделенной полосы для маршрутного транспорта;
– железнодорожные переезды.

На скорость движения троллейбусов в связи ограничениями скорости движения согласно Правилам технической эксплуатации также будут влиять:

© Фомин Е. В., Майер А. А., 2024

– спуски от 4,0 (40) до 9,0 (90) % (‰);

– воздушные пересечений контактной сети, шины грузовой компенсации контактной сети (ограничение до 20 км/ч);

– при прохождении кривых малого радиуса (до 70 м) (ограничение до 15 км/ч);

– воздушные стрелки контактной сети (ограничение до 10 км/ч) [1].

На скорость движения трамваев в связи ограничениями скорости движения согласно Правилам технической эксплуатации также будут влиять:

– кривые радиусом от 50 до 100 м и спуски от 3,0 (30) до 9,0 (90) % (‰);

– пошерстные стрелки и путевые спецчасти (ограничение до 15 км/ч);

– противошерстные стрелки (ограничение до 5 км/ч) [2].

Также на скорость движения трамваев будут влиять места для разворота транспортных средств при расположении трамвайных путей в разделительных полосах, но в таком случае на скорость движения трамваев не будут оказывать влияние дворовые проезды, расположенные справа.

Выделенные полосы для маршрутных транспортных средств играют ключевую роль в повышении скорости сообщения. На сегодняшний день, за счет обустройства выделенных полос и ограничений для парковки личных транспортных средств в центральной части Красноярска, граждане готовы пересаживаться на общественный транспорт. Соответственно, если люди готовы пересаживаться на общественный транспорт, необходимо провести анализ спроса, параметры работы общественного транспорта, который будет удовлетворять жителей, так как именно общественный транспорт поможет решить проблемы загруженности городских улиц. С этим утверждением согласны многие ученые, которые занимаются планированием транспортных систем городов, например [3].

Для решения вопроса о необходимости строительства выделенной полосы для общественного транспорта требуется выработать единую методику, которая позволяла бы в автоматизированном режиме выбрать наиболее эффективную конфигурацию. Существующие методики, такие как предложенные в диссертациях А. М. Беловой [4] и Ле Дык Лонг [5], не учитывают увеличение пассажиропотока после обустройства выделенной полосы. Такой расчет будет неполным, может приводить к ограничениям в продвижении общественного транспорта в городской среде.

Время поездки на общественном транспорте всегда будет больше времени поездки на личном транспорте, в связи с тем, что время поездки на общественном транспорте складывается из времени подхода к остановочному пункту, времени ожидания общественного транспорта, времени поездки и времени движения от остановочного пункта до пункта назначения. Таким образом, получаем:

$$T_{\text{общ}} \geq T_{\text{лт}}, \tag{1}$$

$$T_{\text{общ}} = t_{\text{под}} + t_{\text{ож}} + t_{\text{поезд}} + t_{\text{отх}}\,, \tag{2}$$

$$T_{\text{общ}} = t_{\text{под}} + t_{\text{ож}} + \frac{l_{\text{езд}}}{v_{\text{с}}^{\text{общ}}} + t_{\text{отх}}, \tag{3}$$

$$T_{\text{лт}} = \frac{l_{\text{езд}}}{v_{\text{с}}^{\text{лт}}}, \tag{4}$$

где $T_{\text{общ}}$ – время поездки на общественном транспорте, с; $T_{\text{лт}}$ – время поездки на личном транспорте, с; $t_{\text{под}}$ – время подхода к остановочному пункту, с; $t_{\text{ож}}$ – время ожидания общественного транспорта, с; $t_{\text{поезд}}$ – время поездки, с; $t_{\text{отх}}$ – время движения от остановочного пункта до пункта назначения, с; $l_{\text{езд}}$ – длина маршрута, м; $v_{\text{с}}^{\text{общ}}$ – скорость сообщения общественного транспорта, км/ч; $v_{\text{с}}^{\text{лт}}$ – скорость сообщения личного транспорта, км/ч.

При этом можно получить следующее неравенство:

$$\frac{l_{\text{езд}}}{v_{\text{с}}^{\text{лт}}} \leq t_{\text{под}} + t_{\text{ож}} + \frac{l_{\text{езд}}}{v_{\text{с}}^{\text{общ}}} + t_{\text{отх}}. \tag{5}$$

Тогда длину маршрута можно выразить следующим образом:

$$l_{\text{езд}} = v_{\text{с}}^{\text{лт}}\left(t_{\text{под}} + t_{\text{ож}} + t_{\text{отх}}\right) + \frac{l_{\text{езд}} v_{\text{с}}^{\text{лт}}}{v_{\text{с}}^{\text{общ}}}, \tag{6}$$

$$l_{\text{езд}} - \frac{l_{\text{езд}} v_{\text{с}}^{\text{лт}}}{v_{\text{с}}^{\text{общ}}} = v_{\text{с}}^{\text{лт}}\left(t_{\text{под}} + t_{\text{ож}} + t_{\text{отх}}\right), \tag{7}$$

$$l_{\text{езд}}\left(1 - \frac{v_{\text{с}}^{\text{лт}}}{v_{\text{с}}^{\text{общ}}}\right) = v_{\text{с}}^{\text{лт}}\left(t_{\text{под}} + t_{\text{ож}} + t_{\text{отх}}\right), \tag{8}$$

$$l_{\text{езд}} = \frac{v_{\text{с}}^{\text{лт}}(t_{\text{под}} + t_{\text{ож}} + t_{\text{отх}})}{1 - \frac{v_{\text{с}}^{\text{лт}}}{v_{\text{с}}^{\text{общ}}}}. \tag{9}$$

Если принять:

$$1 - \frac{v_{\text{с}}^{\text{лт}}}{v_{\text{с}}^{\text{общ}}} = k, \tag{10}$$

то при

$$v_{\text{с}}^{\text{общ}} = v_{\text{с}}^{\text{лт}} \to k_{max}, \tag{11}$$

где k – коэффициент привлекательности.

Так как $v_{\text{с}}^{\text{общ}}$ не может быть меньше $v_{\text{с}}^{\text{лт}}$, в связи с различными ограничениями, например, необходимости общественного транспорта останавливаться на всех остановочных пунктах, в нормальных условиях получим:

$$0 < k < 1. \tag{12}$$

Таким образом, был определен коэффициент привлекательности общественного транспорта для пользователей. В целях формирования устойчиво функционирующих городских транспортных систем необходимо стремиться к его увеличению, так как единственный способ решения транспортных проблем в городе – создание приоритета общественного транспорта.

Список источников

1. Правила технической эксплуатации троллейбуса : Распоряжение Минтранса России от 26 марта 2001 г. № АН-20-р.

2. Об утверждении Правил технической эксплуатации трамвая : Распоряжение Минтранса России от 30 ноября 2001 г. № АН-103-р.

3. Ломаков Ю. А. Кибернетический подход к формированию транспортной городской системы и принципы её формирования для автоматизированной системы проектирования // Молодой ученый. 2014. № 3 (62). С. 320–323. URL: https://moluch.ru/archive/62/9635.

4. Белова А. М. Методика обоснования целесообразности выделения полос для движения маршрутного транспорта общего пользования : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Белова Александра Михайловна / Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет «МАДИ». М., 2014. 159 с.

5. Ле Дык Лонг Исследование закономерностей движения транспортных потоков для проектирования выделенных полос наземного общественного транспорта : дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет «МАДИ». М., 2022. 169 с.

УДК 656.08

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА УЧАСТКАХ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ С НЕДОСТАТОЧНОЙ ШИРИНОЙ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ

Н. В. Шадрин

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
shadnik09@yandex.ru

По большей мере водитель постоянно стремится выбрать наиболее целесообразный режим скорости и учитывает два основных критерия – минимально возможные затраты времени и обеспечение безопасности движения. При этом на выбор скорости водителем оказывают влияние его квалификация, психофизиологическое состояние, цель движения, условия его организации.

На основе исследований, проведенных в одинаковых дорожных условиях на одном типе автомобилей, выявлено, что средняя скорость движения у разных водителей высокой квалификации может отличаться до 10 %, а у малоопытных водителей эта разница превышает 15 %.

Исследования показали, что значения скорости, при которых водитель средней квалификации длительно и уверенно может управлять автомобилем, составляют:

– при управлении легковым автомобилем: при ширине полосы проезжей части 3 м – около 65 км/ч; при ширине проезжей части 3,5 м – около 90 км/ч;

– при управлении автомобилем с габаритной шириной 2,5 м и ширине полосы 3,5 м – около 50 км/ч.

Однако не каждый водитель может достаточно точно и своевременно оценить изменение дорожной обстановки, связанной с расстоянием видимости и геометрическими параметрами проезжей части, в частности ширины полосы движения и, соответственно, правильно выбрать скорость. Это, в свою очередь приводит к увеличению вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

Аварии происходят ввиду отсутствия необходимого для обеспечения безопасности движения бокового интервала (динамического коридора). Под динамическим коридором транспортного средства понимается ширина

© Шадрин Н. В., 2024

полосы дороги (проезжей части), необходимой для его безопасного движения с заданной скоростью.

Характерными видами дорожно-транспортных происшествий при этом являются столкновения транспортных средств, значительное количество касательные попутные и реже встречные, связанные с тяжестью последствий, гибелью и ранением людей.

Подобные виды дорожно-транспортных происшествий приводят к длительным и различным спорам о виновности того или иного участника происшествия, образуются заторовые ситуации, ведущие в конечном случае к транспортным «пробкам» на данном участке улично-дорожной сети.

Ширина полосы на проезжей части городских улиц, предназначенная для движения автомобилей в один ряд, определяет требования к траектории движения транспортного средства. Чем меньше ширина полосы, тем более жесткие требования предъявляются к водителю и тем больше у него возникает психическое напряжение при обеспечении точного положения автомобиля на дороге. При малой ширине полосы, а также при встречном разъезде на узкой дороге большинство водителей под воздействием зрительного восприятия снижают скорость.

Оценка обеспечения безопасности движения транспортных средств на участках улично-дорожной сети с недостаточной шириной проезжей части и прогнозирование вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий могут осуществляться путем расчетов необходимых динамических коридоров с обязательным учетом коэффициента, значения которого в значительной мере зависит от квалификации и психофизиологического состояния водителя.

Анализ результатов данных расчетов позволяет разработать ряд мероприятий по совершенствованию организации и повышению безопасности движения на таких участках городской улично-дорожной сети.

Список источников

1. Клинковштейн Г. И, Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения : учебник для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Транспорт, 2001. 247 с.

УДК 658.8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГОРОДСКИХ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ

Я. Н. Школин

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
yshkolin@bk.ru

В настоящее время огромное внимание уделяется проблемам грузовых перевозок и соответствующим задачам логистики. В литературе существует много понятий в отношении термина «городская логистика», целью которой является рационализация и оптимизация всех видов деятельности, происходящих в черте города, для того чтобы повысить уровень жизненного удобства и доступности, не противореча и/или не задерживая социальное, экологическое, экономическое или финансовое развитие городских районов.

Таким образом, ее основные цели в отношении грузоперевозок можно сформулировать следующим образом: снижение уровня загрязнения воздуха и выбросов в атмосферу, которые влияют на изменение климата; снижение транспортного шума; повышение общей безопасности; снижение использования городских территорий для транспортной инфраструктуры и пунктов доставки.

Сегодня доставка груза является жизненно важной деятельностью для всех компаний, расположенных на территории крупных городов и агломераций. Она фактически создает связь между всеми членами системы снабжения, расположенной в городских и сельских районах, и конечными потребителями, представленными городскими жителями, ритейлерами, магазинами и т. д. В связи с ростом численности городов и увеличением количества потребителей возникает проблема своевременной и качественной доставки грузов на городских территориях.

Стоит отметить негативные последствия, вызванные присутствием грузовиков на дорогах. Фактически грузоперевозки конкурируют с частным и общественным транспортом, перевозящим людей, за пропускную способность на улицах и магистралях города и вносят весомый вклад в скопление транспорта на дорогах и другие внешние последствия деятельности, такие как загрязнение воздуха отработавшими газами, шум и безопасность движения. Таким образом, можно выделить основные причины высокой неэффективности и задержек перевозок:

© Школин Я. Н., 2024

– дорожные заторы в городских районах, по которым должны перемещаться транспортные средства, предназначенные для грузоперевозок;

– нехватка нужной инфраструктуры и парковочных мест;

– низкий коэффициент загрузки транспортных средств;

– политика доставки «точно в срок» и электронная торговля [4].

В связи с этим возникает необходимость оптимизации перевозок с целью уменьшения присутствия грузового транспорта на дорогах, уменьшения скорости доставки грузов до пункта назначения и одновременного увеличения загрузки транспортных средств грузоперевозчиков.

Но исключить грузовые автомобили из городского движения невозможно. Именно они, а не легковой, водный и железнодорожный транспорт, обеспечивают работу промышленных предприятий, строительство в городе, снабжение магазинов продовольственными и промышленными товарами, а также уборку и содержание городских территорий за счет высокой маневренности и возможности перевозить грузы большими объемами.

Грузовые автомобили значительно усугубляют и без того непростую ситуацию на перегруженных улицах большинства современных городов. Они занимают много места у тротуаров для погрузки и выгрузки, вносят значительный вклад в загрязнение воздуха, являются источниками раздражающего горожан шума, нередко становятся участниками ДТП с тяжелыми последствиями. Чем больше численность и плотность населения города, тем сильнее влияние перечисленных негативных эффектов на повседневную городскую жизнь.

Эффективность работы грузовых автомобилей зависит от режима их движения. Оптимальным является непрерывное движение с постоянной скоростью. Этим обеспечиваются ритмичная перевозка грузов, непрерывное и точное согласованное поступление грузов на предприятие и, что для города особенно важно, сокращение численности грузовых автомобилей, занятых на перевозках, а также уменьшение интенсивности движения на уличной сети города. Если на пути транспортных потоков встречаются светофоры, участки с ограниченной скоростью движения или малой пропускной способностью, начинают возрастать транспортные потери и снижаться эффективность работы не только грузовых автомобилей, но и всех остальных видов городского транспорта. Такой процесс носит цепной характер: увеличение потерь времени в пути приводит к снижению скоростей движения и уменьшению производительности грузовых автомобилей. Для того чтобы восполнить эти потери и обеспечить необходимый объем перевозок, приходится увеличивать парк грузовых автомобилей, т. е. увеличивать интенсивность их движения, а это вызывает еще большее снижение скорости движения и производительности работы. Этот процесс продолжается до исчерпания пропускной способности транспортной сети [1].

Эффективность процесса перевозки грузов во многом зависит не только от внутренних факторов работы транспортных предприятий, но и от множества внешних.

Наиболее часто к внутренним факторам относят:

1) количество подвижного состава и его грузоподъемность;

2) количество порожних рейсов от общего количества выполненных рейсов;

3) величину коэффициента загрузки подвижного состава;

4) сроки доставки груза;

5) надежность поставок;

6) величину издержек и затрат на доставку;

7) количество несохранных перевозок и т. д.

К внешним факторам относят те, которые непосредственно связаны с городской средой и территорией, в их перечень входят:

1) планировочные особенности города;

2) характеристики транспортного потока (состав, интенсивность, неравномерность движения, задержки и т. д.);

3) характеристики населения (численность, потребности, платежеспособность и т. д.);

4) экологию;

5) транспортный потенциал (наличие разных подсистем транспорта) и т. д.

Как указано в большинстве литературных источников по логистике, значительный выигрыш может быть достигнут только посредством регулирования деятельности транспортных средств и повышением эффективности их использования. К примеру, использование так называемых зеленых транспортных средств или создание специализированных маршрутов или выделенных полос для грузовых автомобилей, которые могут улучшить эти системы и уменьшить передвижения грузовиков и связанные с ними выбросы в город.

Для борьбы с негативными последствиями городских грузовых перевозок многие местные власти пытаются контролировать процесс, насколько это возможно. Наиболее часто используемыми мерами являются временные окна и ограничения на транспортные средства. Основная цель этой политики — меры по уменьшению неудобств гражданам, ограничивая транспорт в определенные периоды времени, когда жители чувствуют дискомфорт от воздействия транспорта (временные окна) или на транспортные средства, вызывающие меньше вторжений (ограничения на транспортные средства). Временные окна ограничивают интервал, в котором грузовые транспортные средства допускаются к части города, обычно в раннее утро. Они очень распространены, особенно в западноевропейских странах, но также используются в других странах (например, в Азии) [3].

Нормативная политика властей подразумевает разработку ограничительных или стимулирующих мер при управлении грузовым движением. В нашей стране широко используются ограничения на движение грузового автомобильного транспорта, изложенные в «Правилах дорожного движения РФ», государственных стандартах на технические средства организации движения и различных локальных нормативных актах, принятых в конкретных регионах страны.

Решение перечисленных выше проблем и снижение негативного воздействия грузового автотранспорта на окружающую среду городов с одновременным повышением эффективности доставки товаров в условиях перегруженных городских магистралей возможно с использованием малых городских терминалов, расположенных в густонаселенных районах, охватывающих крупные и малые торговые точки.

Термин «городской распределительный центр» имеет несколько различных значений. Однако концепция центра консолидации может быть интерпретирована как:

– общественный распределительный склад;

– центральный пункт сортировки товаров;

– городской перевалочный центр;

– городской перевалочный пункт общего пользования;

– грузовые платформы;

– система совместной доставки;

– центр консолидации (иногда специфический, например, для розничной торговли, строительства);

– городской распределительный центр;

– малый городской распределительный центр;

– схемы городской логистики;

– логистический центр;

– концепция выездной логистической поддержки.

Поэтому городской распределительный центр может быть определен как «малый городской терминал», расположенный вблизи места предоставления услуг (например, в крупных районах города), где многочисленные предприятия доставляют товары, предназначенные для обслуживаемой зоны, из которой осуществляются консолидированные поставки, а также дополнительные логистические и розничные услуги [2].

Малый городской терминал располагается в центральной части района города. В терминал поступает необходимый объем запасов груза, затем происходит укрупнение (консолидация) с целью их последующей доставки укрупненными грузовыми единицами в пункты назначения.

Таким образом, преимущество данного нововведения заключается в снижении использования грузовых автомобилей в городах, позволит им вписаться в городскую инфраструктуру, повысить своевременность доставки потребителям с учетом их интересов и интересов города, снизить

издержки по доставке продукции, повысить оборачиваемость капитала за счет снижения среднего уровня запасов в каналах распределения и увеличения скорости доставки грузов.

Список источников

1. Антонов Д. В., Лебедева О. А. Особенности грузового движения в городах // Приоритетные научные направления: от теории к практике. 2014. № 14. С. 102–106. EDN TDPZVB.

2. Urban consolidation centres for medium-size touristic cities in the Westpomerani-an Region of Poland [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/238384849_Urban_consolidation_centres_for_medium-size_touristic_cities_in_the_Westpomeranian_Region_of_Poland.

3. Сыздыкбаева Б. У., Раимбеков Ж. С., Сейдуалин Д. А. Организация грузо-вых перевозок в системе городской логистики товародвижения: зарубежный опыт // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4, № 7. С. 388–398. DOI 10.5281/zenodo.1312487. EDN XTTNJZ.

4. Тюрин А. Ю. Городские распределительные центры в концепции городской логистики // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. № 1(101). С. 146–149. EDN RWMPRB.

УДК 658.7

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Н. П. Шмыков

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
niks1901@mail.ru

Нефтегазовая промышленность – это отрасль экономики, состоящая из последовательных процессов разведки, добычи, переработки и транспортировки нефти и газа. Все эти работы производятся непосредственно на месторождениях. Для российской нефтегазодобычи характерны суровые климатические условия, удаленность от населенных пунктов, что в первую очередь требует создания транспортных подходов, дополнительного обустройства площадок инфраструктурными элементами.

Логистическая система в нефтедобывающей отрасли – адаптирующаяся система с обратной связью, в границах которой выполняются те или иные логистические операции, состоящая из нескольких элементов-подсистем и имеющая развитые связи с внешней средой и прочные, стабильные связи между элементами системы. Транспортная система нефтяной промышленности представляет собой сложный механизм, объединяющий несколько технических средств, плавучие объекты и другие взаимосвязанные элементы сети. Эти условия делают транспортную систему капиталоемкой, что немедленно влияет на конечную стоимость продукта, а также подразумевает высокие финансовые риски, связанные с любыми отклонениями от плана. Даже небольшая задержка или простои, происходящие на производственной площадке из-за естественных причин, приводят к значительным денежным затратам, которые пропорциональны высоким затратам самой системы.

Транспортная логистика играет важную роль, что связано не только с большой долей транспортных расходов в общей структуре затрат на логистику, но и с тем, что продвижение материальных потоков невозможно без транспорта. С формированием и развитием рыночных отношений характер грузовых перевозок в нашей стране существенно изменился. Появилась новая концепция транспортного сервиса. Потребители транспортных услуг с различными видами транспорта выбирают эти виды транспор-

© Шмыков Н. П., 2024

та, которые могут обеспечить высокое качество логистических услуг при минимальных затратах. В области материального производства функцию распределения (движения) материальных потоков выполняет транспорт, который сам по себе является сложным многофункциональным сектором народного хозяйства, содержащим различные виды транспорта, средства связи, инфраструктуру обслуживания, сложные и специфические методы управления. Исходя из этих допущений, из общей логистики возникла научная и прикладная область, называемая транспортной логистикой.

Существуют десятки определений понятия логистики как экономической деятельности. Самая широкая интерпретация относится к управлению всеми типами потоков (материальных, человеческих, энергетических, финансовых), существующих в экономических системах, таких как логистика. Управление объектом сначала включает принятие решения, а затем его реализацию. Транспорт является своего рода связующим элементом, который лежит между самими звеньями логистики, и большинство операций по доставке товаров осуществляются с его помощью.

Для каждого местоположения сооружения определяется собственный состав грузопотоков, который зависит от типа операций, выполняемых на этом этапе (разведка, добыча, подготовка, переработка нефти и др.), а также от типа оборудования, которое участвует в этих процессах. Транспортная логистика координирует и выбирает наиболее эффективные варианты перемещения материальных потоков. Он заботится о снижении затрат на все логистические операции: от покупки материалов и сырья до продажи готовой продукции конечному потребителю. В то же время в нем рассматриваются возможные варианты доплаты за товары, которые следуют по определенному каналу логистической связи, и использование различных транспортных средств. Основными принципами транспортной логистики являются оптимизация и снижение затрат, связанных с транспортной деятельностью. Эти показатели достигаются благодаря экономии, достигнутой в крупномасштабных грузовых перевозках, выбору оптимальных моделей движения, качественной и быстрой обработке необходимых документов.

Основной проблемой при доставке грузов на месторождение является произведение транспортно-логистических работ в труднодоступных и удаленных местах и суровых климатических условиях, характерных для Крайнего Севера. Специфика географии северных регионов является сложной для организации перевозок железнодорожным сообщением, услуги авиаперевозчиков характеризуются высокой стоимостью, а достаточно быстрая и оптимальная доставка грузов возможна лишь в течение нескольких месяцев в году. Приемлемое соотношение цены и качества грузоперевозок способен обеспечить только автотранспорт.

В северных районах перевозка грузов автотранспортом осуществляется по зимникам. Автозимник – сезонная автомобильная дорога, состоя-

щая из конструктивных элементов, предназначенных для движения транспортных средств, с покрытием проезжей части изо льда, уплотненного снега и льда или проложенная по замерзшему льду рек и озер. Пользоваться зимниками возможно только при очень низких температурах. Соответственно для передвижения в подобных условиях требуется специальная техника (например, полноприводные грузовые автомобили и вездеходы), управляемая профессиональными водителями с опытом грузоперевозок в экстремальных условиях.

Игнорирование правил безопасности приводит к проваливанию грузовика под лед, и чтобы достать машину, может понадобиться несколько месяцев. Помимо вышеперечисленного, часто встречаются просто плохие дороги: разбитые, с большим количеством неровностей. Скорость передвижения на разбитой дороге падает до 10–20 км/ч, а водителю необходимо соблюдать осторожность, чтобы не вынесло на обочину. Все это несет большие риски для здоровья человека.

Для решения этих проблем логистической системы при перевозках на нефтегазодобывающих месторождениях является внедрение беспилотных технологий, таких как эксплуатация автономных грузовиков. Так, в Соединенных Штатах Америки, в стране, которая не ратифицировала Конвенцию о дорожном движении, заключенную в Вене в 1968 г., положения которой предусматривают в том числе обязательное нахождение водителя транспортного средства в кабине во время движения, уже на протяжении нескольких лет происходит активное внедрение автономных грузовиков, что примечательно, и на дороги общего пользования, а не только на закрытых территориях складов или каких-либо торговых площадей, где подобный транспорт не сталкивается с другими автомобилями под управлением водителей и не пересекается с пешеходами. Наиболее интересен и, на наш взгляд, практически применим опыт американской компании Embark [1]. Данная компания не является производителем грузовиков, а только лишь программного обеспечения для таких автомобилей. Основная идея компании состоит не в том, чтобы научить грузовик ездить везде и в любых условиях, в т. ч. и городских, где все условия предусмотреть практически невозможно, и тем более научить «правильно себя вести» электронные системы, а в том, чтобы правильно настроить алгоритмы системы для движения трейлера по магистралям, соединяющим города или штаты. Идея компании обоснована и понятна, ведь наибольшее время транспортировки грузов затрачивается именно на трансфер между населенными пунктами. А в случае движения грузовика под управлением водителя движения машины становится далеко не равномерным, ввиду потребностей человека и вытекающем из них режиме сна и отдыха, когда в том числе и груз вынужден некоторое время простаивать, испытывая терпение клиента, ожидающего свой груз как можно быстрее. Механизм реализации состоит в том, что водитель осуществляет загрузку трейлера

на складе, «выгоняет» грузовик за пределы города на трассу, запускает программу и отправляет до границ другого нужного населенного пункта, где данное авто, соответственно, уже встречает другой водитель и доводит уже в условиях другого города до нужного конечного пункта назначения. В данном случае остается открытым вопрос автономности хода автомобилей, выраженный в расстоянии, которое грузовики могут проехать на одном баке топлива или заряде батарей в случае использования электродвигателей.

На территории же Российской Федерации, напротив, иные условия допуска к участию в дорожном движении автомобилей без водителей, поскольку Россией ратифицирована Конвенция о дорожном движении, и в настоящее время по дорогам общего пользования с юридической точки зрения автономные автомобили самостоятельно передвигаться не могут. Однако все же некоторые шаги в регулировании правового поля в части запуска на дороги общего пользования на территории страны уже делаются. Так, уже действует Постановление Правительства РФ от 26 ноября 2018 г. № 1415 [2], которое устанавливает возможность проведения экспериментальных испытаний по использованию высокоавтоматизированных транспортных средств на территории 13 субъектов Российской Федерации. В данном случае речь идет именно о высокоавтоматизированных транспортных средствах, под которыми понимаются автомобили, способные двигаться самостоятельно, в т. ч. и по дорогам общего пользования, однако, учитывая международные нормы, действующие и на территории нашей страны, за рулем таких машин обязательно должен находиться водитель, готовый в любой момент взять на себя управление. Также в настоящее время проходит стадию публичных обсуждений и проект федерального закона «О высокоавтоматизированных транспортных средствах и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», который также вводит новое понятие «полностью автоматизированное транспортное средство», предполагаемое к участию в дорожном движении уже без возможности вмешательства людей к управлению такими транспортными средствами.

Однако данный законопроект также требует доработок, например, в части определения ответственности владельцев, водителей, операторов таких транспортных средств, поскольку данные пробелы в законодательстве так и не устранены. Более того, в данном законопроекте имеется понятие «среда штатной эксплуатации», сформулированное не совсем корректно и однозначно. Однако, несмотря на указанные проблемы в регулировании российским законодательством беспилотного транспорта, на территории России все же создаются государственно-частные проекты с использованием автономных автомобилей, но с учетом перечисленных трудностей. Так, между Москвой и Санкт-Петербургом к 2024 г. планируется создание логистического коридора для полностью автономных грузовиков.

Но, учитывая действующие нормативно-правовые нормы, такой коридор будет реализован в рамках одной выделенной полосы трассы М-11 «Нева» в целях исключения пересечения таких машин с автомобилями, управляемыми водителями. В какой-то степени данный проект повторяет вышеупомянутую концепцию, предложенную компанией Embark, так как в данном случае также автономные машины будут курсировать от границы одного города до другого без заезда в городскую черту. На протяжении коридора также планируют создать так называемые «хабы» для заправки и дополнительного обслуживания таких автомобилей. На наш взгляд, выгода использования такого коридора очевидна, поскольку, как было сказано выше, задержки в движении подобных грузовиков минимальны и связаны в основном только с заправкой либо зарядкой. Так, специалистами уже подведены подсчеты, что в результате введения данного коридора скорость доставки грузов увеличится на 25 %, а себестоимость доставки снизится примерно на 10 % [3]. В этой связи полагаем возможным расширить функционал автономного транспорта путем использования технологии Big Data, под которой следует понимать систему, способную собирать, обрабатывать и анализировать такой набор данных, размер которых превосходит возможности типичных баз данных по занесению, хранению, управлению и анализу информации [4]. Так, данная технология уже на протяжении нескольких лет успешно применяется в порту Гамбург (Германия). В данном порту движение автомобильного транспорта как на территории самого порта, так и на подъездах к нему полностью подчинено системе, за счет чего менеджменту порта удалось сократить время загрузки одного грузовика на 10 минут, что суммарно экономит до 5 000 часов в день в рамках всего порта [5]. Также целесообразно к технологии Big Data организовать в части, касающейся доступа грузоотправителей и грузополучателей в целях удовлетворения растущих запросов клиентов и расширения клиентской базы

Таким образом, преимущество данного нововведения заключается в минимизации экономических рисков, снижении себестоимости доставки грузов и безопасности проведения работ, так как не требует физического присутствия человека.

Тем не менее до сих пор у крупных игроков нефтегазового рынка нет возможности и собственных подразделений для внедрения и эксплуатации беспилотников. Пока в нефтегазовой отрасли компаниями принято использовать услуги независимых подрядчиков, а не создавать собственные подразделения с использованием беспилотных технологий. Однако важно отметить, что применение данной технологии поможет в будущем превысить фактические значения показателей нефтегазовых компаний по уровню добычи нефти, поэтому принятие решения сегодня об их внедрении в производственные процессы является стратегически важным и оправданным.

Список источников

1. Embark [Электронный ресурс]. URL: https://embarktrucks.com (дата обращения: 27.11.2021).

2. Постановление Правительства РФ от 26 ноября 2018 г. № 1415 «О проведении эксперимента по опытной эксплуатации на автомобильных дорогах общего пользования высокоавтоматизированных транспортных средств» [Электронный ресурс]. URL: http://base.garant.ru/, свободный (дата обращения: 24.11.2021).

3. Минтранс России приступил к реализации проекта беспилотных грузоперевозок по трассе М-11 «Нева» [Электронный ресурс]. URL: https://mintrans.gov.ru/presscenter/news/9940, свободный (дата обращения: 27.11.2021).

4. McKinsey and Company [Электронный ресурс]. URL: https://www.mckinsey.com (дата обращения: 28.11.2021).

5. Тоскин А. Большие грузы – Большие Данные. Big Data для транспортнологистических узлов // Логистика и управление цепями поставок. 2015. № 1 (66). URL: http://lscm.ru (дата обращения: 04.11.2021).

Секция 4

ENGLISH FOR SPECIFIC PURPOSES

. . . . . .

. . . . . .

. . . . . .

UDC 620.9

INVESTIGATION OF SLAGGING AT CO-COMBUSTION OF COAL WITH BIOMASS

V. M. Antolinovskaya[1], P. A. CHelnokova[2], N. A. Zemlyanskij[3]
Language supervisor – V. M. Antolinovskaya, senior lecturer

[1, 2, 3]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[3]nikzemln@mail.ru

Coals are widely used as energy fuels for the generation of thermal and electrical energy. When burning solid fossil fuels, a large amount of harmful emissions and ash are formed, which in turn negatively affect the environment. Less harmful gaseous substances are formed when burning biomass, but the complete transition to burning instead of coal is difficult due to the absence of large reserves, problems with delivery and storage. To solve this problem, scientists both in Russia and abroad are considering the possibility of switching to co-combustion of coal and biomass [1, 2].

When co-combustion biomass and coal, one of the significant problems, in addition to lowering the efficiency and the need to re-evaluate the thermal calculation of the boiler unit, during flare combustion is the formation of deposits on heating surfaces. The process of sediment formation in boiler units with chamber combustion is assessed as the propensity of fuels to form ferruginous, sulfate-calcium and deposits based on active alkalis, according to the domestic methodology [2, 3]. For boiler units in which coal combustion is carried out in a layer, it is very important to assess the probability of agglomeration of the layer, its sintering, for this purpose a foreign technique is used [4].

The purpose of the work is to assess the formation of deposits during the co-combustion of coal and biomass.

The following fuels were selected as research objects:

No. 1 Borodino brown coal (hereinafter B2);

No. 2 lignin, waste of pulp and paper products (hereinafter LG);

No. 3 larch bark, waste from the timber processing industry (hereinafter LST).

For further research, we determined the characteristics of fuels according to the standards (Table 1).

In order to determine the composition of the fuel ash, a chemical analysis was carried out (Table 2).

© Antolinovskaya V. M., CHelnokova P. A., Zemlyanskij N. A., 2024

Table 1

Technical and elemental analysis data

№	Technicalanalysis			Elementalcomposition					Q_i^r, MJ/kg
	W^a, %	A^d, %	V^{daf}, %	C^{daf}, %	H^{daf}, %	N^{daf}, %	S^{daf}, %	O^{daf}, %	
B2	32,6	9,2	47,3	73,5	5,1	1,0	0,3	20,1	16,1
LG	47,5	6,2	65,9	63,2	5,4	–	0,5	30,9	10,3
LST	1,8	3,1	74,5	52,9	5,6	–	–	41,5	18,3

Table 2

Chemicalanalysisdata

№	Content, %							
	SiO2	CaO	K2O	Na2O	Fe2O3	TiO2	MgO	Al_2O_3
B2	50,7	23,0	0,3	0,2	9,7	0,1	3,1	10,0
LG	22,3	27,4	1,82	–	12,5	0,421	0,869	2,44
LST	2,92	51,3	7,72	0,62	9,14	0,96	7,53	3,1

Solid fuel mixtures with the following mass proportions were selected for experiments: B2 100%; LH 100%; LST 100%; and B2 separately with biomass in the proportions of 25:75, 50:50 and 75:25.

The propensity of fuels to deposit formation was evaluated according to the UralVTI methodology, the propensity to ferrous deposits in boiler plants was calculated by the formula:

$$R_{\mathrm{Fe}} = 0{,}857 - \frac{0{,}567}{\left(0{,}9 \cdot \frac{S^{daf}(100-A^d)}{A^d} + 0{,}813 \cdot \mathrm{Fe_2O_3}\right)}. \quad (1)$$

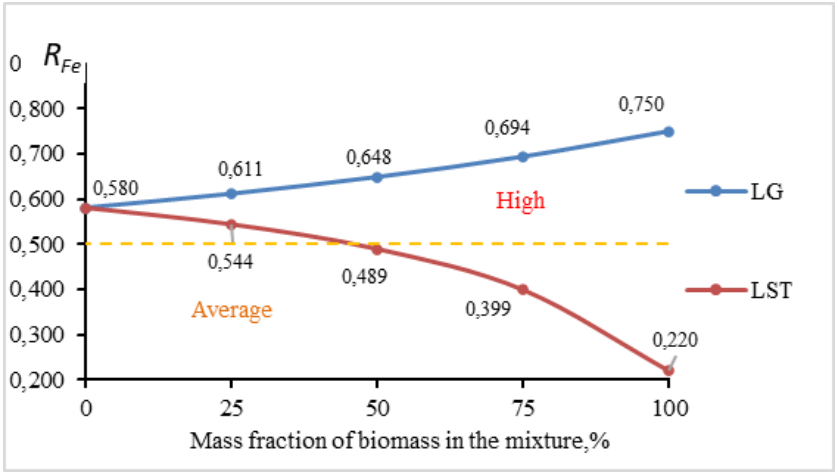


Fig. 1. Tendency to slag on the basis of ferruginous deposits.

The propensity to form deposits based on active alkalis was calculated by the formula:

$$R_{\text{Na}} = 0{,}416 \cdot (0{,}95 \cdot \text{Na}_2O - 0.11 \cdot K_2O - 0.05)^{0{,}313}. \quad (2)$$

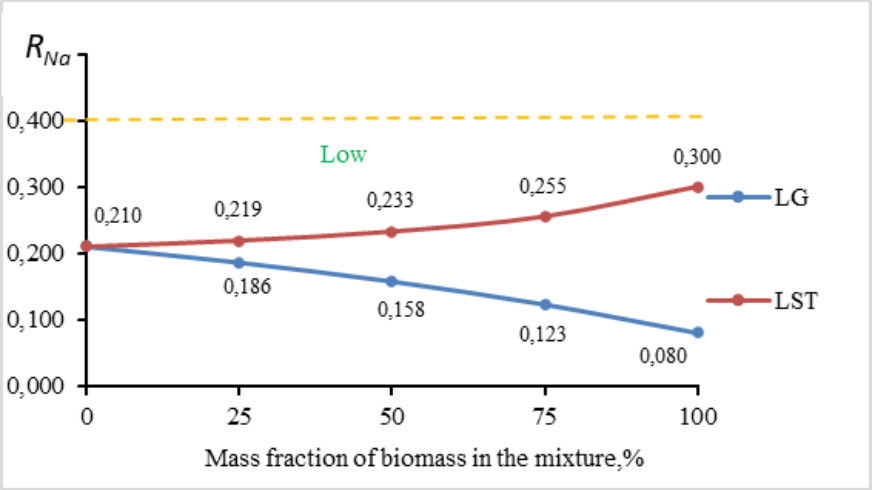


Fig. 2. Tendency to slagging based on active alkalis.

The tendency to form sulfate-calcium deposits was calculated by the formula:

$$R_{\text{Ca}} = 0{,}5 \cdot (\text{CaO} \cdot (1 - 0{,}0025A^d) - 0{,}05)^{0{,}22} - P_{\text{Na}}. \quad (3)$$

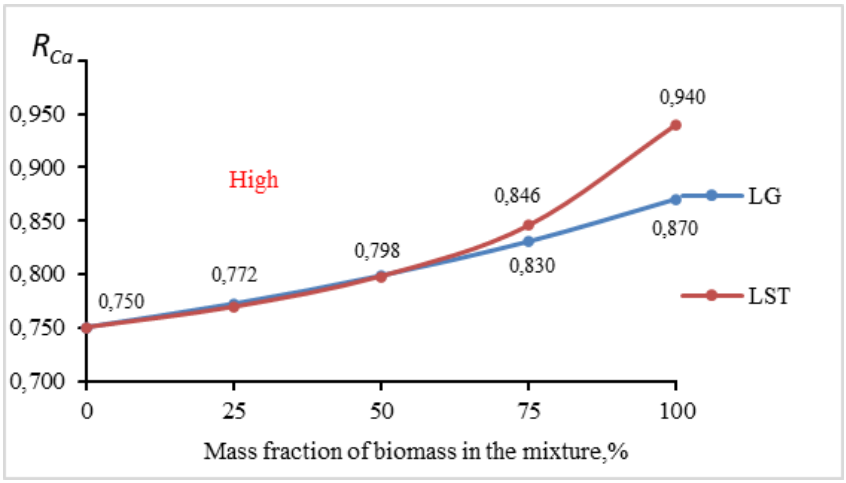


Fig. 3. Tendency to slagging based on sulfate-calcium deposits.

A comprehensive assessment of the formation of deposits on the pipes inside the boiler furnace was calculated using the formula:

$$R_S = 0{,}707 \cdot (P_{\text{Fe}}^2 + (1 - 0.025 \cdot \text{AB})^2)^{0.5}. \quad (4)$$

According to the evaluation results, it was found that during combustion, lignin has a very high tendency to form ferruginous deposits due to the high con-

tent of sulfur (0.5% in its original form) and iron (12.5% in ash), and larch bark has a high tendency to slag based on calcium sulfate compounds, due to the content of calcium oxide in ash is more than 50%, which can also lead to clumping and solidification of ash in contact with water.

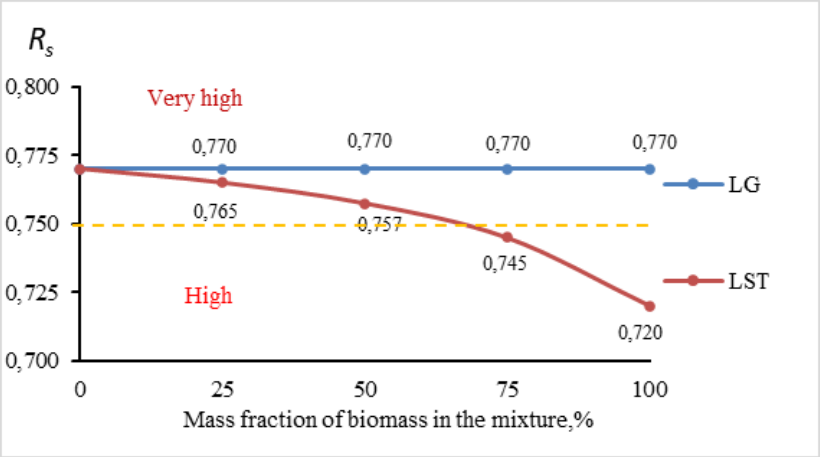


Fig. 4. Comprehensive assessment of the propensity to slag furnace screens.

Adding more than 50% of lignin to coal will increase the RFE index by 30%, which is unacceptable when switching to burning another fuel, therefore, co-combustion with a larger proportion of lignin is not recommended. For the co-combustion of coal with larch bark, it is necessary to carry out an event to check the contact of ash with water, and no restriction on the formation of deposits inside the boiler was found.

Among the experimental proportions for the transition at the lowest cost, it is recommended to use fuel consisting of 50% lignin and 50% Borodino coal. To increase the environmental effect, it is recommended to add up to 75% leaf sawdust to the coal, but in this case the wet ash removal system will need to be replaced.

References

1. Bhuiyan A. A., Blicblau A. S., Islam A. K. M. S., Naser J. A review on thermo-chemical characteristics of coal/biomass co-firing in industrial furnace // J. Energy Inst. Vol. 91 (1). Pp. 1–18, 2018.

2. Alekhnovich A. N., Bogomolov V. V., Artemyeva N. V. Joint flaring of biomass with coal // Heat power engineering. 2022. N 2. P. 26–33.

3. Skuratov A. P., Kozlov S. G. Furnace processes during the burning of slag Kansk-Achinsk coals: monograph. Krasnoyarsk: Sib. feder. Univ., 2021. 172 p. ISBN 978-5-7638-4549-5

4. Maidanik M. N., Verbovetsky E. H., Tugov A. N. Preliminary assessment of the possibility of transferring boilers of thermal power plants to burning alternative coal // Teploenergetika. 2021. No. 9. Pp. 33–42.

UDC 656.021.5

IMPROVEMENT OF THE METHOD OF PASSENGER FLOW SURVEY ON PUBLIC TRANSPORTATION WITH THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

M. V. Bochkareva[1]
Language supervisor – I. V. Batunova[2], Phd in Pedagogic sciences, Associate Professor

[1, 2]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[1]bmv.krastrans@mail.ru

The survey of passenger flow on public transport is mainly carried out by counting-table and questionnaire methods.

The counting-table method is based on counting the number of passengers entering and exiting the vehicle at each stop on the route. The counting is carried out through the use of technical means of recording the "entry-exit" of passengers (sensors, devices, devices, cameras of photo-video fixation and other specialized means having the functions of photography, video recording) or by counting officers who are located in the cabin of the route vehicle and carry out counting of entering and exiting passengers at each stop of the route.

The survey by questionnaire method can be conducted using mass media (television, newspapers, official websites of authorized bodies in the information and telecommunication network Internet), direct questioning of the population by surveyors at the place of residence, work, study, during a trip, in places of transfer from one type of transport to another, at the stops of passenger transport with subsequent filling out of passenger flow survey questionnaires [1].

The methods used to calculate passenger flow are rather labor-intensive and do not allow to determine the accuracy of passenger flow data taking into account the time of day, time of year and to determine the efficiency of the use of vehicles on the route.

For example, in the city of Krasnoyarsk, Irma matrix and Irma basic passenger flow counting sensors are installed on vehicles. These sensors work on the principle of measuring the distance to the object by infrared radiation and transferring the obtained values to the analyzer, which processes the data. Further, the information is transferred to the onboard navigation and communication unit and sent via GPRS/GSM to the dispatch center. The error of passenger flow determination with the help of such sensors is about 1 to 3%. Besides, the

© Bochkareva M. V., 2024

sensors are installed only on a partition of vehicles used on the route. For example, on trolleybus route No. 15 «OJSC RUSAL - neighborhood Vetluzhanka», the length of which is 26.6 km in one direction, while the number of vehicles is 22, only 4 units are equipped with Irma matrix sensors. Thus, it is not possible to analyze the distribution of passenger traffic on the route.

Since 2020, the rolling stock of Krasnoyarsk municipal transport has been actively renewed. When supplying new vehicles, the technical assignment provides for the installation of video surveillance systems in the cabins to monitor the quality of services, crew work and transportation security. With the help of the installed video cameras, it is possible to survey the passenger flow not for the whole day for the whole route and for each unit of the vehicle. The survey with the help of data from video cameras is the same counting and tabulation method, performed by the controller, but only being not in the vehicle, but in front of a personal computer monitor with uploaded video from cameras installed in the vehicle cabin. Taking into account the mode of operation of the same trolleybus route № 15 from 5:30 to 01:30, the controller will need to calculate the number of incoming outgoing passengers through 3 doors at each bus stop when the trolleybus has operated for 20 hours. Thus, a single controller would need at least 440 hours or 18 days to complete the survey in one day. Also taking into account the factors of overlapping heads when boarding a large number of passengers, it should be concluded that passenger flow surveys using video materials also have an error.

On inter-municipal suburban and intercity routes, the analysis of passenger flow using the counting method is more demanding and accurate, due to the small number of trips performed per day, as well as a small number of stops established by the route scheme. Thus, the survey of passenger flow on intermunicipal routes, with the help of video surveillance cameras installed in the cabin of vehicles by viewing video materials in an accelerated mode, will allow to count passengers of one route for one working day in a few hours. But in any case, counting passengers manually is a labor-intensive and time-consuming process.

Passenger flow surveys by questionnaire method is the most unreliable, and can be used only when establishing new routes, in order to determine the need for transportation to a particular area of the city or settlement.

In July 2021, PJSC "VimpelCom" announced the creation and start of use of an artificial intelligence system capable of identifying not only the number of passengers, but also identifies passengers who have not paid for transportation.

The system algorithm is based on the simultaneous processing of video stream from cameras in the visible, infrared range, as well as integration with real-time validators. Video cameras are configured in such a way that the coordinates of a point in the image obtained from one camera can be unambiguously mapped to the coordinates of the corresponding point in the image of another camera.

The visible spectrum image is fed to the input of the neural network, and the result of detecting people is corrected using the infrared image, which allows to use the object features obtained from the video cameras, thereby significantly increasing the accuracy of recognition and reducing the level of false readings.

For passenger recognition and counting, modules such as:

1. Visible spectrum video stream reading;
2. Reading the video stream of the infrared spectrum;
3. Passenger detection;
4. Passenger positioning;
5. Passenger tracking and counting;
6. Visualization.

The interaction of the modules is shown in Figure 1.

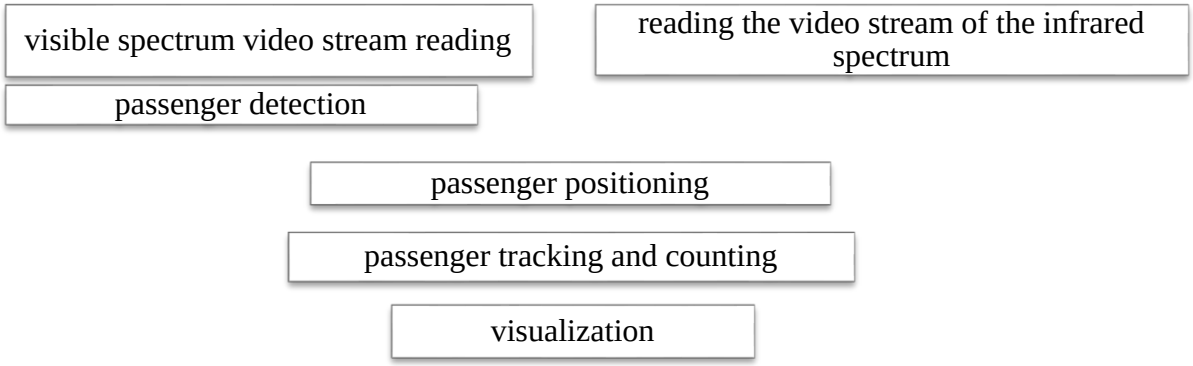


Fig. 1. Interaction of program modules in the passenger counting process

Each of the presented modules performs a different function. The first two modules provide image acquisition from the video stream from infrared cameras. Each of the modules removes distortions for further data conversion using a neural network, as well as matching the coordinates of the "thermal" image with the coordinates of the visible spectrum image.

The passenger head detection module uses a neural network based detector, which results in passenger identification.

The head position refinement module correlates the result of the head detection module with the corresponding thermal image to further verify the accuracy of passenger identification.

Passenger tracking and counting module allows to calculate the total number of people in the frame [2].

The visualization module displays a stream of source images and a counter of the current number of passengers.

Thus, the use of neural network in the analysis of passenger flow allows to keep track of passenger flow in real time while minimizing costs on the part of service companies. In addition, the implementation of this system of public transport allows to monitor revenue on the route, by comparing the number of passengers in the transport with the number of paid tickets, to increase the effi-

ciency of vehicle use on the route, thereby eliminating the facts of overloaded transport at peak times.

An artificial intelligence system based on the obtained data is able not only to analyze the passenger flow, but also to offer options for optimizing the movement of buses on the route to reduce congestion at bus stops.

The topic of the passenger flow survey on both municipal and municipal routes is relevant not only for the companies servicing these routes, but also for controlling authorities and local governments.

Today Krasnoyarsk region 139 inter-municipal routes are established, in Krasnoyarsk city passenger transportation is carried out on 63 routes, including 6 routes served by trolleybuses and 4 routes by streetcars. In addition, most municipalities of Krasnoyarsk Krai have intra-district routes. More than 40% of the routes fall into the category of routes with low passenger traffic intensity. This means that the cost of passenger transportation on the route exceeds the income received from passenger transportation, which leads to losses of the motor transport company servicing this route. In order to reimburse the carriers' costs, such routes are included in the program of road transportation on regular routes subsidized from the budget. The main factor determining the low intensity of passenger traffic is the indicator of the number of passengers carried on a route when a certain number of trips are performed.

In this case, information on the number of passengers transported is provided by the carrier serving such a route. At present, the authorities do not have the technical capability to verify the reliability of the data provided by the carrier of the number of passengers carried, and have no idea of the actual number of passengers on the routes.

The use of artificial intelligence in counting passengers will allow not only carriers to control the transportation process, but also the authorities to check the reliability of the data provided by the carrier on the number of passengers carried, thereby justifying the expediency of spending budget funds.

Quality control of passenger transportation is essential for both carriers and authorities. Today there is an opportunity to track the work of buses on the route in accordance with the established schedule and the scheme of the route, as well as compliance with speed limits on the sections of the route using data from navigation units of GLONASS/GPS system in a single platform of navigation applications. But this data is not enough to get a complete picture of the quality of services provided.

Based on the above, the introduction of the method of passenger flow survey on public transport using artificial intelligence by installing the appropriate equipment in the cabins of vehicles is in demand. However, installation of this equipment and maintenance of the system is quite expensive. The average cost of installation of video surveillance cameras that meet the requirements of transportation security on a large classy vehicle for August 2023 is 216 thousand ru-

bles. The average cost of installing validators for three doors is 262 thousand rubles.

The authorities have no leverage on business entities in terms of the obligation to equip vehicles with such technical devices as infrared cameras and validators.

The use of the method of passenger flow survey on public transport with the use of artificial intelligence will significantly expand the functionality of the conventional video surveillance system, and allow the formation of input data to the authorities in the development of strategic planning documents.

References

1. Order of the Ministry of Transport of Krasnoyarsk Krai № 6/36-N of 01.07.2021 «On establishing the Procedure for determining passenger traffic on inter-municipal routes of regular transportation of passengers and luggage by road transport and the Procedure for the survey of actual passenger traffic, including the analysis of ticket sales on inter-municipal route of regular transportation of passengers and luggage by road transport».

2. Computer vision technology with functions of non-contact temperature control and wearing mode of protective equipment: [website]. URL: https://habr.com/ru/articles/652143/

UDC 658.14.17

BUYBACK AS AN EFFECTIVE WAY TO PREVENT FINANCIAL LOSSES OF INDUSTRIAL COMPANIES

A. V. Boldina[1]
Language supervisor – I. V. Alekseyenko[2], senior lecturer

[1, 2]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[1]bav1411@mail.ru

Main part

The article discusses the relevance of the buyback procedure both in general and its significance today in the special conditions of economic development. The concept of a buyback, the reasons and methods for its implementation are considered, and a brief analysis of the securities market is compiled using the example of some industrial companies.

Due to economic changes, many companies, including industrial ones, are temporarily curtailing their operations, resulting in lower profits and lower securities prices. To preserve assets and maintain positive stock performance on stock exchanges, many companies use the “share buyback” procedure, which is an effective way to prevent financial losses.

“Share buyback” or buyback (from the English “buy” - purchase and “back” - back, back) is the process of purchasing its own shares by the issuing corporation, actively carried out abroad and in recent years increasingly used in Russia. It is a form of investment that allows issuers to invest in their own business with minimal risks. Buybacks are quite common in the global stock market, and quite often organizations announce the buyback of their shares from the exchange, but why? The fact is that after the buy-back is announced, a situation arises when the company buys back securities from shareholders and actually withdraws part of its shares from circulation on the stock market, which results in many parties (participants) benefiting.

When a corporation declares a buyback, it solves several problems: reducing the risk of hostile takeovers, getting rid of excess liquidity, improving the ratio of profit per share price, obtaining benefits when calculating taxes on dividends, and transferring purchased shares to company employees. There are also several reasons that can serve as a catalyst for a buyback:

© Boldina A. V., 2024

Firstly, there is the availability of free money in the turnover of the company.Let's imagine that there is a certain developed company that has not found a market with sufficient potential for investing available funds. This company's lack of options for new development could impact its future financial and operating results. As a result, the stock price of such an organization may come under pressure. The analytical group of this company understands that the shares are undervalued on the stock market, and they are beginning to fall in price. In this case, purchasing your own shares becomes the most profitable option for investing funds that are currently “dead weight” for the company. The described situation mainly occurs among large companies in an already formed market with high competition. Then the company decides to introduce “floating” money into circulation through a buyback.

In other words, often, the announcement of a buyback is put forward by corporations that at some point accumulate free cash that cannot be used in investments for the development of the company for various reasons. Then, through a buyback, the organization can afford to increase the actual shares of its largest shareholders and strengthen their positions.

Moreover, in conditions of constant competition, if a large company has a sufficient amount of free funds, but at the same time there are no new developed areas or projects for further development and investment of their capital, investors may regard this as a sign of business stagnation and will begin to sell shares companies are under threat of depreciation of their investments.

The selling principle works in such a way that the cheaper the shares, the easier it is to repurchase significant shares of the company's shares. This creates a high risk of an unexpected change of ownership or takeover. And to prevent this from happening, the company resorts to repurchasing its shares from shareholders, using those very available funds “from the piggy bank.”

Secondly, the collapse of the securities market is due to a miscalculation. Professional brokers often note that many organizations announce share repurchases “in the event of a severe decline in quotations and a significant underestimation by the market of the share price relative to its fundamental characteristics.” But buybacks can also be made at high levels of stock prices, and such a buyback will be called a “return of money to shareholders, or alternative dividend payments.”

Be that as it may, as a result, thanks to the buyback, an increased (additional) demand is created for the shares of the company that announced it. But you must remember that a buyback does not always give a positive result; it can work both for and against you. For example, the result of a buyback that harms the company may be an increase in the corporation's debt burden and a drop in its profitability.

Thirdly, it is a political “step" of the company.The company buys back its own hares in order to demonstrate management's faith in its own business. In international

practice, this is a very successful way to maintain the activity of the financial market and is widely used by joint-stock companies and other corporations.

For example, as a result of the collapse of the US securities market in November 1987, the country's leading corporations conducted a series of buybacks totaling $9 billion. And after the events of September 11, 2001, laws were changed in the United States, softening the procedure for repurchasing securities to support the financial condition of exchanges.

Later, in 2007, China followed suit, establishing similar benefits for its organizations. “A national commission was formed, which radically simplified the procedure for repurchasing securities of enterprises. The new rules made it possible to freely register the intention of a buy-back and remotely inform the national commission about the buyback.”

Thus, stock buybacks are an excellent tool to support the market during periods of collapse.

Fourthly, dividends are taxed more than income from the (exchange rate) value of shares in the most foreign countries. As a result, large investors lose interest in receiving income through dividends. Moody's, which examined statistics on 3,000 buyback securities in the open market between 1985 and 2005, found evidence that for this reason, stock buybacks can be used as a legal way to save on taxes. Moody's examined the "tax effect" of dividends on US trading floors and concluded that when companies paid large sums in dividends, thus companies significantly reduced their net worth.

Fifth, let us consider the protection against hostile takeover.The benefit to society can be associated not only with investing their own funds. An important reason may also be to conduct a buyback in order to protect the company from raiding and hostile takeovers.

A “hostile takeover” (from the English hostile takeover) is understood as the aggressive purchase of shares of one joint-stock company by another. In other words, these are actions of an investor to acquire a controlling stake in a company from shareholders without the consent of analysts of the company itself. An aggressive acquisition can lead to significant changes not only in the composition of shareholders and a complete change of the board of directors, but also in the leading managers of the company. In addition, such sudden changes may lead to changes in financial policies and the main activities of the company. In practice, it turns out that the initiator can be not only an external conditional aggressor, actively buying up all the shares, but also a shareholder of the company itself, subject to the threat of takeover.

In such a situation, one of the main ways to protect the company from a hostile takeover is the urgent repurchase of its own shares by the company. Because of this, shares are excluded from free circulation and become protected, as they move to the “untouchable” balance of society for aggressors. Such a purchase can be organized either by the company itself, which is under threat of

takeover, or by a “white knight” (a friendly external investor who is in no way connected with this company).

Sixth, it is necessary to note the maintenance of quotations of own shares.For example, in 2020, due to the current international situation due to the spread of the coronavirus pandemic, in accordance with Part 1 of Article 12 of the Federal Law of April 7, 2020 No. 115-FZ, public joint stock companies from April 7, 2020 throughout 2020 were allowed to acquire own shares admitted to organized trading, if their quotes begin to decline, in a special manner, but only if the conditions established in this law and notifications from the Bank of Russia about the acquisition of shares are met.

We found out that buybacks are carried out for various reasons. And finally, we suggest considering ways in which shares are bought back.

After announcing a buyback, such company has the following ways to implement this: either the organization buys back its shares from the open market, or directly from shareholders. In both cases, the interest of different investors in the prospects for shares of such a corporation will increase in direct proportion.

The simplest type (way) of implementing a buy-back is to conduct it on the open market (open-market purchase).Most often, organizations take the path of repurchase by the issuer of shares from the open market, especially on the stock markets of America and Europe, while Russian companies resort to this quite rarely, although in recent years activity in this direction has been increasing even in our country. When choosing this type of buyback, the company is obliged to follow a certain procedure: place an announcement in advance on its official website for everyone about the size of the buyback program and the timing of its implementation. It submits an application to purchase shares on the stock exchange, but it is not required to notify in advance about the volume of shares in each application and the purchase price. The duration of the program can vary from several months to several years. The issuer can buy back its shares both on all exchanges where securities are listed simultaneously, and on just one of them. He makes the decision to choose an exchange independently.

During the buyback period, it is very profitable to buy shares, since there is a high probability of an increase in the share price while other indicators remain stable.

An example of a buyback on the open market is the following situation: on August 30, 2019, LUKOIL announced the opening of a buyback program for a total amount of shares equal to $3 billion. The end date for the program was set for December 30, 2022. The parameters indicated only the term (equal to 4 years) and the volume of the offer (amounted to 5.1% of the total authorized capital).

During the implementation of these programs, there should have been a greater demand for LUKOIL securities, which actually happened.

Also, companies can buy back their shares using the second type of buyback, that is, directly from shareholders, by announcing a tender buyback at a

fixed price or a tender buyback like a “Dutch” auction. Most often, the reason for a tender buyout is the internal corporate events of the company, then the stock market does not take into account the presence of a positive factor in the tender.

Tender repurchase of shares at a fixed price (self-tender order) is considered to be “intermediate”, since in many ways it is similar to the type of “open repurchase”. For shareholders, it differs in that it provides the opportunity to buy back a large share of shares in the shortest possible time. With such a repurchase, the offer to purchase shares usually does not exceed several weeks, and the price is fixed and remains unchanged throughout the entire trading period, but it must necessarily exceed the current market price of the securities being sold. All shareholders who have expressed a desire to sell shares of the company must submit an application. If, as a result, it turns out that the total volume of shareholder requests exceeds the supply, then the issuer has the right to repurchase a larger number of shares than was originally planned. However, the obligation to fully repurchase shares is not assigned to the issuer.

The largest example of a fixed-price tender buyback is the purchase of almost the entire stake in Megafon at the beginning of May 2019. At the beginning of the year, the company's shares ceased to be listed on the Moscow Exchange and began to actively lose performance, and before that, Megafon's shares were also delisted on the London Stock Exchange (LSE). The application specified almost all the conditions: the price of the fixed offer per share was 659.26 rubles, the period was limited to 3 months, and the volume of the offer exceeded 95% of the shares.

Finally, the last scheme is to conduct a buyback using the Dutch auction system. This is the most difficult and unpredictable way. The name of the auction comes from the Dutch flower auction system. With this type of repurchase, its participants are required to indicate the minimum and maximum prices (for the entire volume or just for one share) that they are willing to agree to in order to repurchase a certain number of shares. After reaching an agreement on a price, shareholders submit bids at prices acceptable to each in the previously established range. Next, all submitted applications are sorted in ascending order of price. Shareholders' requests are executed at the minimum price that can ensure the repurchase of the company's entire offer.

Such repurchase is not particularly common in Russian practice, but is often used by foreign issuers.

So, each of these methods is good in its own way. If you analyze in detail in advance all possible outcomes of each type of buyback, you can subsequently gain a competitive advantage over other market participants.

It turns out that a buy-back, if properly organized and carried out, can have a very positive impact on the position and balance sheet of the joint-stock company. The exception when you should not buy shares of the issuer during a

buyback is if the reasons that prompted the company to buyback are internal corporate changes or events of this company.

After analyzing, we can see that the repurchase procedure is often launched by industrial raw materials companies engaged in the export of oil, gas and precious metals, since the excess of free cash not put into circulation exposes such companies to excessive inflationary risks.

References

1. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части унификации содержания годовых отчетов государственных корпораций (компаний), публично-правовых компаний, а также в части установления особенностей регулирования корпоративных отношений в 2020 году и о приостановлении действия положений отдельных законодательных актов Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон от 07.04.2020 № 115-ФЗ // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». URL: http://www.consultant.ru.

2. Что такое buyback? Почему компании выкупают свои акции с биржи [Электронный ресурс] // Сайт «РБК». URL: https://quote.rbc.ru/news/training/5e2efecb9a79474e3c4aca57.

3. Что такое обратный выкуп акций (bayback) [Электронный ресурс] // Сайт «Equity». URL: https://equity.today/obratnyj-vykup-akcij-buyback.html.

4. Методы защиты от недружественных присоединений/поглощений [Электронный ресурс] // Сайт «Studme.Org». URL: https://studme.org/78480/pravo/metody_zaschity_nedruzhestvennyh_prisoedine niypogloscheniy.

5. Buyback. Как и зачем компании покупают собственные акции [Электронный ресурс] // Сайт «БКС Экспресс». URL: https://bcs-express.ru/novosti-i-analitika/buyback-zachem-kompanii-pokupaiut-sobstvennye-aktsii.

6. Что такое buyback (выкуп акций)? [Электронный ресурс] // Сайт «Открытие Брокер». URL: https://www.opentrainer.ru/articles/chto-takoe-buyback-vykup-aktsiy/.

7. Что такое обратный выкуп акций и зачем его проводят [Электронный ресурс] // Сайт «Биржевой навигатор». URL: https://stock-list.ru/buyback.html.

UDC 621.763: 621.7.04

MODELING OF MILLING PROCESSES WHEN OBTAINING SURFACES WITH AN EQUIAXIAL CONTOUR

S. V. Filippov[1], A. S. Binchurov[2], Y. I. Gordeev[3], V. B. Yasinskiy[4]
Language supervisor – V. V. Vonog, PhD in Cultural Sciences, an associate professor

[1, 2, 3, 4]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[2]Aerospace College of the Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia
[1]Sergeyvladilenovich@mail.ru, [2]mexanixs@mail.ru

The active use of modern 3-5-axis multi-purpose CNC machines opens up advanced technological capabilities for processing complex-profile parts with high productivity and accuracy. Of particular interest is the processing complex-profile surfaces of parts made of hard-to-deform materials, which are subject to increased requirements for the quality of processing [1, 2].

The purpose of the work is to study the possibilities of improving the quality of processing complex-profile surfaces by modeling milling processes.

Figure 1 shows the scheme of milling a RK-profile surface.

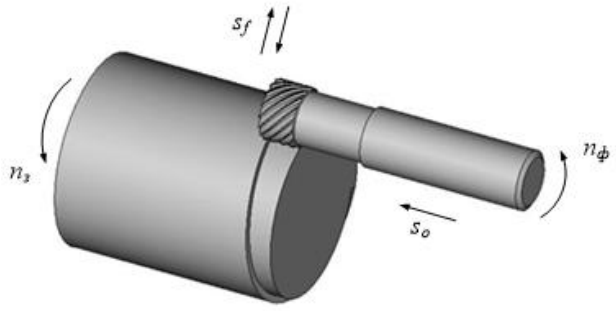


Fig 1. Scheme of surface treatment during milling

In the process of processing a part using the milling method, the tool performs two movements: translational along the axis of the part (so) and rotational movement around its own axis (nf), while the workpiece being processed rotates around its own axis (nd).

© Filippov S. V., Binchurov A. S., Gordeev Y. I., Yasinskiy V. B., 2024

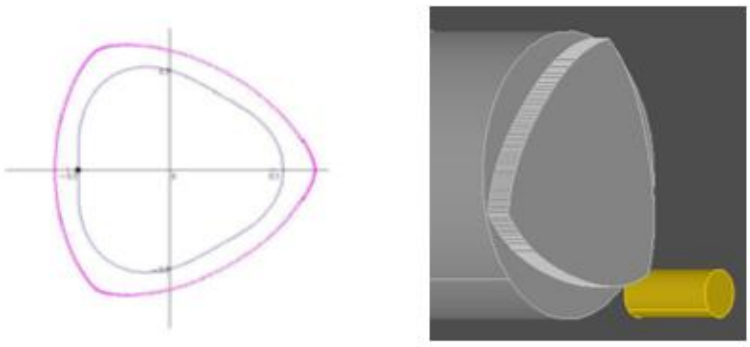


Fig 2. Part surface profiles

According to the results of numerical estimates based on the first scheme of end milling, a comprehensive methodology and calculation formulas for determining the main cutting modes were developed below.

Calculations using formulas (1-6) show a significant increase (up to 2 times) in cutting speed and productivity in terms of the volume of the material being cut compared to turning.

The diameter of the workpiece to be processed is determined by the formula:

$$D_m = D_w - 2 * t \tag{1}$$

where «t» is the cutting depth. Pitch offset angle:

$$\theta = arctg\left(\frac{x}{3{,}14 * D_m}\right), \tag{2}$$

where «x» is the pitch of the helix

Workpiece rotation speed, mm/rev:

$$n_w = \frac{z * s_z * n_t}{x}, \tag{3}$$

where «z» is the number of milling cutter teeth, «s_Z» is the feed per tooth, nt is the tool rotation frequency.

Feed per tooth and feed in the axial direction is determined by the formulas (4, 5):

$$s_Z = \frac{s_{z\prime} * x * \cos(\theta)}{3{,}14 * D_m}, \tag{4}$$

$$s_{z\prime} = \frac{3{,}14 * D_m * n_w}{z * \cos(\theta) * n_t}. \tag{5}$$

And finally, the speed of the cutter along the helical path:

$$V_{f'} = \frac{3{,}14 * D_m * n_w}{\cos(\theta)}. \quad (6)$$

The additional cutter feed motion (sf) with a contour (coaxial) processing scheme also provides the possibility of processing complex-profile surfaces, such as equiaxed contours with a regular profile, cycloidal, helical, etc.

The description of tool and workpiece movements is presented as a system of equations (7) and a workpiece rotation matrix (8). For example, when the ratio of angular velocities is 1/3: ωI = 2π3, ωD = -2π, where ωI are the angular velocities of the tool, ωD are the angular velocities of the part.

$$r_I(t,\delta\varphi) = \begin{pmatrix} r_{IO}\cos(\varepsilon_I t + \delta\varphi) + \varepsilon \\ 0 \\ r_{IO}\cos(\varepsilon_I t + \delta\varphi) \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$M_Z(t) = \begin{pmatrix} \cos(\omega_D t) & -\sin(\omega_D t) & 0 \\ \sin(\omega_D t) & \cos(\omega_D t) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

where, «rI» - the coordinates of the points of movement of the tool, «δφ» - the distance between the cutting edges, «ε» - the ratio of the radii of the cutter and the workpiece.

Examples of profiles and surface roughness obtained by milling with different values of the number of teeth (N), angular velocities of the tool (ωI) and workpiece (ωD), distances between the tool axis and the workpiece (e) (Fig. 3). When milling, the height of the calculated irregularities is determined by the position of the point p, the intersection of two circles spaced from each other at a distance equal to the feed Sz per cutter tooth.

Naturally, the real microroughnesses differ in shape and height from the calculated ones. Compared to the calculated real microprofile loses its regularity and R_z≪Δh.

$$\Delta h = \frac{D}{2} - \sqrt{\frac{D^2}{4} - \frac{S_z^2}{4}}. \quad (9)$$

Numerical experiments using MathCAD software products and based on the analytical provisions proposed in the work made it possible to evaluate the influence of cutting conditions, geometric parameters of the cutting part of the tool (profile and number of teeth), kinematics of relative movement in the "tool -

part" system on the shape of surfaces and parameters roughness contours obtained by milling.

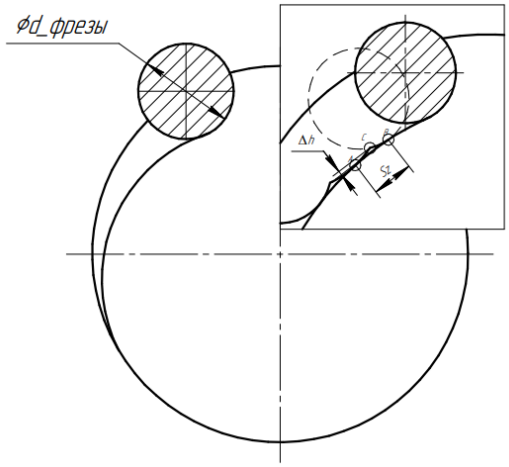


Fig 3. Calculation scheme for determining the residual microroughness

References

1. DeOliveira F. B. et al. Size effect and minimum chip thickness in micromilling // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2015. P. 39–54.

2. Patraev E. V., Vakulin M. S., Gordeev Yu. I., Yasinsky V. B. High-speed micro-milling of parts made of composite materials and aluminum alloys. Proceedings of Universities of Mechanical Engineering. 2021. No. 12 (741). P. 62–72.

UDC 658.62.018:006.83

MANDATORY CERTIFICATION OF GOODS IN RUSSIA

A. V. Germanchyk[1], A. A. Lyuik[2]
Language Supervisor – T. V. Stupina[3]

[1, 2, 3]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[1]anastasiagermancuk@gmail.com, [2]lyuikanya21@gmail.com

Product certification is a procedure that is carried out by an independent organization that has received a license from the Federal Accreditation Service of the Russian Federation.

In Russia there are two types of certification: mandatory and voluntary. Mandatory certification is obligatory for all the products that are included in the special list. Voluntary certification is carried out at the request of the seller. Mandatory certification is carried out concerning the goods specified in the list of goods subject to mandatory certification. The process of obtaining a certificate does not differ from the type of certification.

Certification of products is realized to protect the life, health of consumers and the environment from low-quality products. With the help of manufacturer certification, one can check the quality indicators of the products, discover more of trade relations and the ability to build and choose the products of the desired quality. Certification is also helpful in buying and selling goods abroad.

The objects of mandatory certification include:

– consumer goods and services;
– technological processes;
– products and equipment for industrial and technical purposes;
– construction products, services or work;
– quality systems.

Products for children, entertainment products, cosmetic products, medical equipment and medicines, food products, building materials, knitted and fur products, textiles,sporting goods, tools, garden equipment, passenger cars, shoes, household chemicals and other product categories related to safety are subject to mandatory certification in Russia.

Not only products, but also services are certified. We consider the following services subject to mandatory certification: household, tourist, public facilities, transport services, catering.

© Germanchyk A. V., Lyuik A. A., 2024

The general list of mandatory certification objects is established by the Federal Agency for Technical Regulation. This list is periodically updated and supplemented with new products (about once a year).

The certification process in Russia is carried out according to a certain scheme and it includes the stages: firstly, application forms are submitted to the bodies that carry out certification activities, (in Moscow, Saint Petersburg, Saratov, Penza, Yekaterinburg, Novosibirsk, Krasnoyarsk, Chita, and other cities of Russia). Then there is a repeated check. Factors of the production environment are evaluated (these data will also be reflected in the certificate). Finally, the document is drawn up.

At all hazardous enterprises (there are about 170 thousand hazardous production facilities in Russia) storing, processing, transporting or using hazardous substances, regular quality control of the production environment is carried out. It includes regular and unscheduled inspection activities. The results are recorded in a special document.

During certification the following aspects are verified:

– compliance of the actual characteristics of goods or products with the normative indicators of technical regulations, GOST standards and other legislative acts of the safety of goods in relation to human health, environment and property;

– compliance with proper manufacturing conditions at all stages of production, ensuring the invariance of product quality;

– preparing proper documents that the manufacturer, importer or seller is obliged to submit or transfer to the buyer;

– compliance with fire safety, sanitary and epidemiological standards;

– proper quality and safety of containers and packaging that do not affect the main characteristics of the goods;

– compliance with the rules of product labeling, the list of mandatory information that should be indicated on the consumer packaging or on the product itself.

Participants of the mandatory certification system can be:

– the central body of the certification system (if necessary);

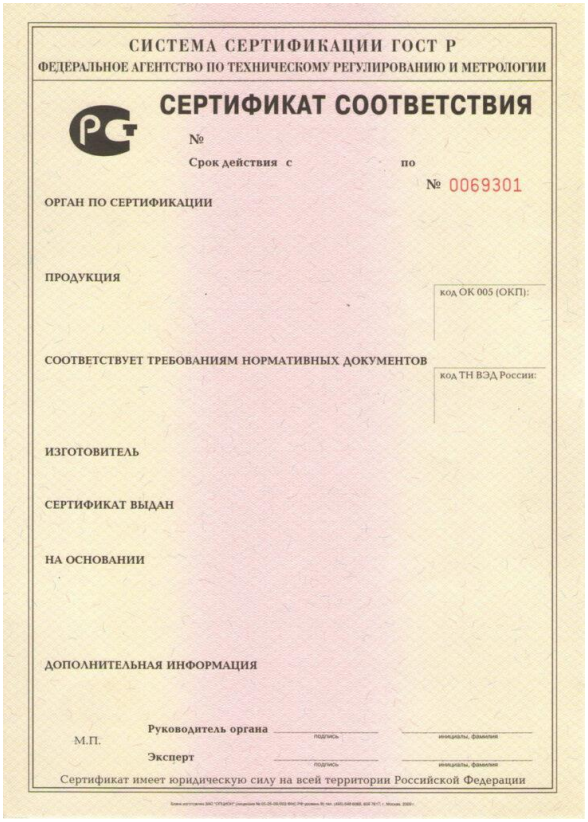
– federal executive authorities;

– certification body (center);

– testing laboratory.

The mandatory certification system may also include organizations serving the system (scientific and methodological institutions, centers for training specialists in the field of certification, etc.)

The certificate (Figure 1), obtained obligatory, will be valid throughout the country. Gosstandard of the Russian Federation is the body that organizes certification procedure. In a few instances, this activity is carried out by the executives of the representative authority.



СИСТЕМА СЕРТИФИКАЦИИ ГОСТ Р

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

№

Срок действия с по

№ 0069301

ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ

ПРОДУКЦИЯ

код ОК 005 (ОКП):

СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

код ТН ВЭД России:

ИЗГОТОВИТЕЛЬ

СЕРТИФИКАТ ВЫДАН

НА ОСНОВАНИИ

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

М.П. Руководитель органа подпись инициалы, фамилия

Эксперт подпись инициалы, фамилия

Сертификат имеет юридическую силу на всей территории Российской Федерации

Fig. 1. Sample of mandatory certificate in Russia

Product certification has many advantages not only for the citizens of the country, but also for the country itself. For example, legalization of product turnover; increasing consumer confidence in products produced; promotional marketing of the product. Since 1992 Russia performs certification and every year specialists strive for improvement. At the moment, it is planned to develop certification in the direction of harmonization of domestic rules with international certification rules and improvement of certification methods.

References

1. Obyazatel'naya sertifikaciya produkcii. Vygodnye usloviya (Mandatory certification of products. Favorable terms). Available at: https://gbsi.ru/obyazatelnaya-sertifikacziya (accessed 10 September 2023).

2. Obyazatel'naya sertifikaciya tovarov i uslug – Zadachi i celi (Mandatory certification of goods and services – Tasks and objectives). Available at: https://www.gost-rst.ru/certification/obyazatelnaya-sertifikatsiya.html (accessed 10 September 2023).

UDK 621.763: 621.7.04

COMPUTATIONAL PROPERTTIES OF A MODEL MATERIAL OF REGULAR STRUCTURES OBTAINED BY ADDITIVE TECHNOLOGIES

Yu. I. Gordeev[1], A. S. Binchurov[2], E. V. Moskvichev[3], V. B. Yasinsky[4], S. V. Filippov[5]

[1, 2, 4, 5]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[3]Federal Research Center for Information and Computational Technologies, Krasnoyarsk, Russia
[1]y.gordeev.tms@mail.ru, [3]jugr@ict.nsc.ru

1. Introduction

Additive technologies of 3D printing methods by fused deposition modelling (FDM) have a number of advantages over other traditional processing methods (powder metallurgy, fabric and woven prepregs, foaming, investment casting, etc.) and extended prospects for application in various fields: manufacture of geometrically-complex parts for mechanical engineering [1], aerospace industry [2], biomedicine [3], oil and gas industry, etc. The works [4-5] provide examples of the practical use of the FDM method in creating contour-complex solid parts made of plastics, metals, and alloys. Despite a significant amount of studies and applied work in the field of additive technologies [1], the problems of topological optimization of structures obtained by 3D printing are still relevant, first of all, due to the need to adapt them to the shape, size and operating conditions of a particular product, and the modelling of parts with complex geometry requires further improvement and development.

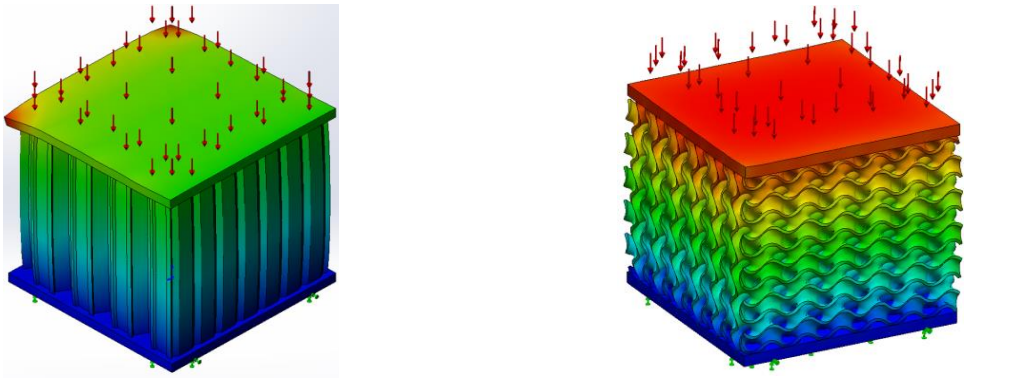
The aim of this study is to model regular structures made of plastics and study the processes of their destruction as a starting method in the development of a technology for manufacturing composite increased-strength materials.

2. Results of computational and experimental studies of regular structures made of plastics

A preliminary experimental assessment of the strength properties was carried out on samples of ten different types of structures made of plastics – acrylonitrile butadiene styrene (ABS) and polylactide (PLA). Using the FDM technology and a Hercules printer, our team made 40x40x40 mm samples with cell sizes from 1 mm to 5 mm (large honeycomb) for compression testing. The com-

© Gordeev Yu. I., Binchurov A. S., Moskvichev E. V., Yasinsky V. B., Filippov S. V., 2024

pression tests of the samples were carried out in accordance with ISO 604:2002 on a Tinius Olsen 100ST universal testing machine which enables to measure deformations with a video extensometer. When modelling various honeycomb and gyroid structures and predicting their properties, the team employed Cura, Prusa, and Solidworks Simulation software products. The images of the models, the topology of the samples, and the assessment of the stresses arising in the samples volumes are shown in fig. 1.



Displacement, e_{max} $1.624*10^{-4}$ mm
Stress, $1{,}367 \cdot 10^{4}$ Pa

a)

Displacement, e_{max} $2.126 \cdot 10^{-4}$ mm
Stress, $2.771 \cdot 10^{4}$ Pa

b)

Fig. 1. Types of structures: *a)* honeycomb, longitudinal along the axis of construction; *b)* gyroid, longitudinal along the construction axis

The numerical analysis of the strength of various types of structures according to the model showed that the longitudinal construction of layers is preferable to the transversal (35%), and the honeycomb structure provides strength higher than the gyroid one (75%). The corresponding experimental deformation diagrams in the load-displacement and stress-deformation coordinates for some samples honeycomb and gyroid structures with different topologies are shown in fig. 2.

It is worth noting that the deformation processes and the destruction pattern of most samples with structures of different topologies occur in accordance with the forecasts based on the model and classical concepts of destruction of materials, for example, along the direction of the shear planes (fig. 3). This indicates a fairly high quality of construction of the regular structures.

A more visual representation of the measurement results and differences in the behaviour of the samples with different topological structures and materials under load is shown in fig. 4.

The analysis of the obtained curves and their nonmonotonic nature indicates the staging of fracture in most of the samples. Obviously, according to the diagrams in fig. 4*)*, the most preferred material for the manufacture of frame structures is PLA, which provides a higher level of strength properties (curves 1, 3, 5, 7, 9) for all types of structures in contrast to the ABS samples (curves 2, 4,

6, 8, 10). Comparison of the samples of different topologies shows the advantages of the honeycomb structures with their location parallel to the loading axis (samples 3, 4 in fig. 4). Regardless of the material, reliable load strengths for the PLA and ABS samples lie in the range from 10,000 to 25,000 N, which is the main governing factor. For the samples with other topology – a gyroid and a transverse honeycomb (samples 1 and 5 in fig. 4) made of PLA – the operability zone is from 5000 to 10000 N. The curves for the remaining samples have insignificant differences, the maximum load strength lies in the region under 5000 N. But their distinctive feature is the pronounced cyclicity (discreteness) of the destruction processes, and numerous peaks, which is explained by the layered structure. In [3, 4, 6], the authors observed similar effects on the *gyroid* and *Schwartz primitive* structures.

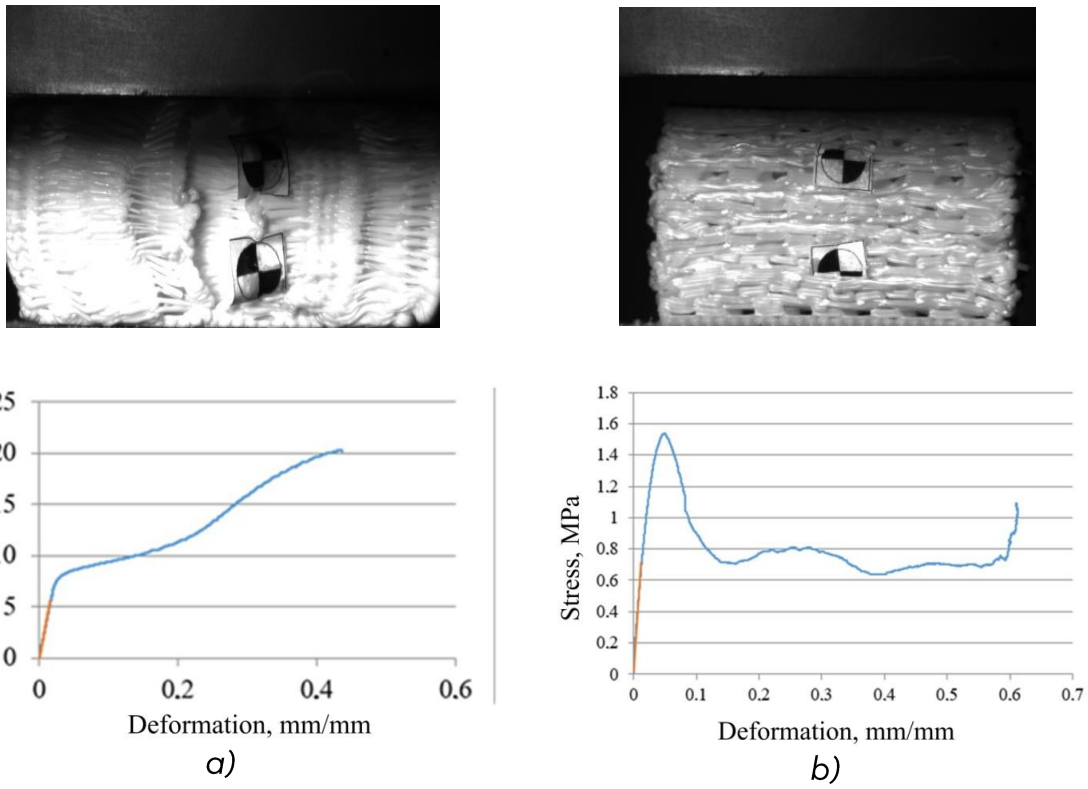


Fig. 2. Measurement results of sample 3 (PLA2 honeycomb, longitudinal along the growth axis)
Sample 8 (ABS4 gyroid, longitudinal along the growth axis)

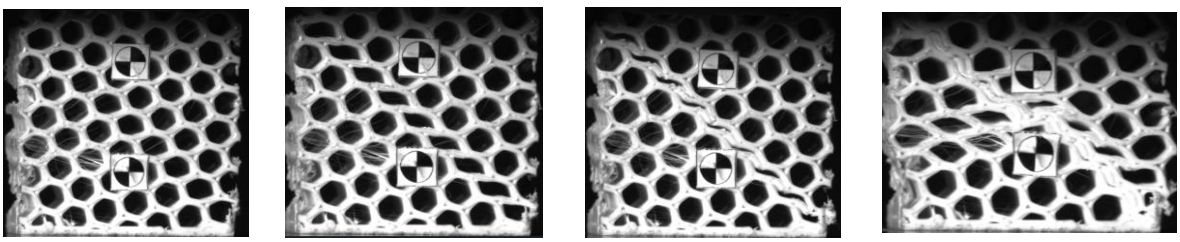


Fig. 3. Stages of destruction of the walls of the honeycomb under loading

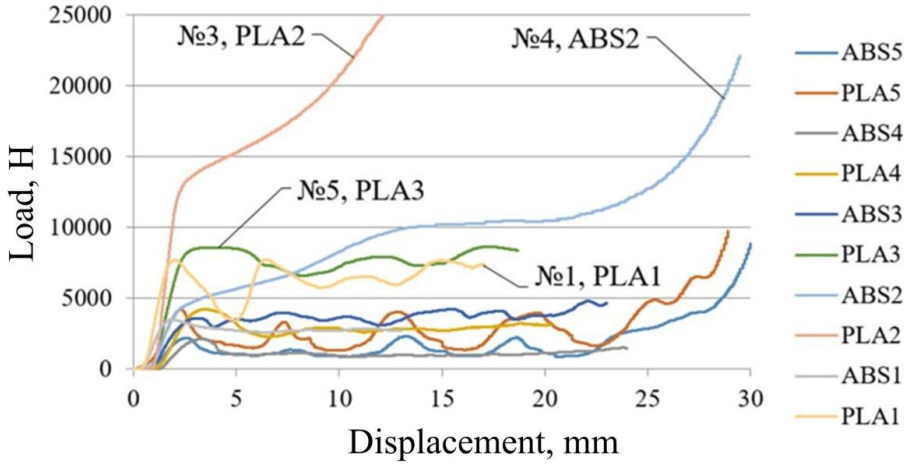


Fig. 4. Deformation patterns during compression

The results of processing all experimental data indicate that the most preferred structure is the longitudinal honeycomb, and the most preferred material is PLA (sample 3), which provide the best combination of elastic and strength properties (table).

Table

Physical and mechanical properties of the obtained samples

Sample	Material	Modulus of elasticity, MPa	Tensile strength, MPa	Specific strength, MPa · cm^3/g
1	PLA1	206.9	5.58	22.32
2	ABS1	94.8	2.6	13.0
3*	PLA2	342.3	20.4	81.2
4	ABS2	136.78	13.8	69.0
5	PLA3	144.13	5.52	22.08
6	ABS3	82.15	2.48	12.4
7	PLA4	124.28	3.01	12.04
8	ABS4	58.21	1.54	7.7
9	PLA5	80.5	2.63	10.52
10	ABS5	42.9	1.38	6.9

* – structure of the sample with the best strength indices

Besides, the experimental results show a satisfactory agreement with the model prediction, which makes it possible to recommend the method of creating plastic models using Cura, Prusa, Solidworks Simulation for further practical application when manufacturing products from metal powders.

Thus, based on numerical analysis and experimental tests, we determined the most preferred types of structures – PLA honeycomb structures with the following strength properties: elastic modulus, E = 342.3 MPa, compressive

strength, σ = 20.4 MPa, specific strength, σ_{sp} = 81 MPa• cm^3/g (when 20% of the total volume of the honeycomb structure is filled with plastic material, and the same for the gyroid structure is 21%). This type of honeycomb structure topology can be recommended for further implementation in structures of various functional purposes, including those made of metallic materials and alloys.

3 Conclusion

In the process of complex numerical and experimental studies, our team found the patterns of deformation processes and destruction of various types of regular structures 3D-printed of plastics in accordance with the computer model, and the most preferred materials and honeycomb structures from the point of view of strength properties. The results of preliminary tests on plastic prototypes were used in the development of compositions and manufacturing technologies for metal composite materials.

Acknowledgments

Mechanical tests were carried out using the equipment of «Engineering test center» of FRC ICT.

References

1. Chen L. Y., Liang S. X., Liu Y., & Zhang L. C. Additive manufacturing of metallic lattice structures: Unconstrained design, accurate fabrication, fascinated performances, and challenges. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 2021, vol. 146, 100648.

2. Najmon J.C., Raeisi S., & Tovar A. Review of additive manufacturing technologies and applications in the aerospace industry. *Additive manufacturing for the aerospace industry*, 2019, pp. 7-31.

3. Dyachenko S.V., Lebedev L.A., Sychev M.M., Nefedova L.A. Physical and mechanical properties of a model material with the topology of three times periodic surfaces of minimum energy of the gyroid type in the form of a cube. *Journal of Technical Physics*, 2018, vol. 88, no. 7, pp. 1014 -1017 (in Russ.).

4. Tino R., Leary M., Yeo A., Brandt M., & Kron, T. (2019). Gyroid structures for 3D-printed heterogeneous radiotherapy phantoms. *Physics in Medicine & Biology*, 2019, vol.*64, no* 21, pp. 1-9.

5. Markov V. A., Pusev V. I., Selivanov V. V. Questions of application of high-porosity metals and honeycomb structures for protection against shock-wave loads. *Questions of defense technology. Series 16: Technical means of countering terrorism*, 2012, No. 7-8. pp. 54-62. (in Russ.).

6. Balabanov, S. V., Makogon, A. I., Sychev, M. M., Evstratov, A. A. 3D printing and mechanical properties of polyamide products with “primitive Schwartz” topology. *Journal of Technical Physics*, 2020, vol. 90, no. 2. pp. 223-227. (in Russ.).

UDC 669 621.643; 537.8; 532.5

FEATURES OF THE DESIGN OF LIQUID METAL INDUCTION MAGNETOHYDRODYNAMIC STIRRERS

A. D. Kochergina[1]
Scientific supervisor – V. N. Timofeev[2], Doctor of Engineering, full professor
Language supervisor – V. V. Vonog[3], PhD in Cultural Sciences, an associate professor

[1, 2, 3]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[1]adkochergina21@gmail.com

Nowadays the use of liquid metal induction magnetohydrodynamic (MHD) stirrers in metallurgy makes it possible to obtain melts, in particular, multicomponent ones, that explain the relevance of current work. A high-quality alloy is characterized by uniformity in chemical composition and temperature and depends on the design features of the MHD stirrer.

Liquid metal induction MHD stirrers seem to be focus of scientific work, mainly devoted to: their comparison with sinusoidal and non-sinusoidal periodic currents [1], induction machinery [2], etc. However, there is a lack of algorithms for calculating the integral characteristics of MHD stirrers with non-sinusoidal current. This paper proposes the foundations that will be used to develop a design methodology for industrial MHD stirrers with non-sinusoidal current.

This work is aimed at studying possibilities of improving the mixing process of liquid metals for the preparation of high-quality multicomponent alloys.

Let us consider a model of a running magnetic field inductor near the bath with the metal (Figure 1).

According to our observations we drew preliminary basic assumptions made for this model, namely:

– the air gap is uniform, the effect of the grooves of the inductor's core is taken into account by introducing the estimated gap $\delta' = k_\mu k_\delta \delta$;

– infinitely long by the *x* axis and infinitely wide core of the inductor has magnetic permeability $\mu = \infty$ and conductivity $\sigma = 0$;

– the system of coordinates is calculated as rigidly connected with the metal as a solid body, i.e. themetal elements move with the same velocity *v*, and electromagnetic processes in the metal change with the angular frequency ω_0;

© Kochergina A. D., 2024

– the winding of the inductor is presented in a form of infinitely thin layer of current. The linear density of the current is changed in space and time accordance with the following law $\underline{J} = Ae^{i(\omega_0 t - \alpha x)}$.

With the assumptions made, the estimated model of the MHD stirrer will look as presented at Figure 2.

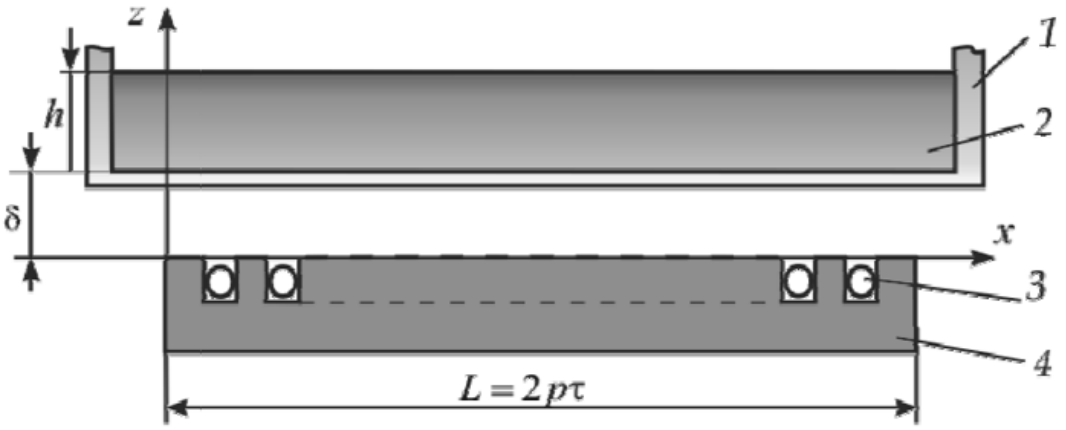


Fig. 1. Inductor of the running magnetic field near the bath with the metal:
1 – rectangular bath; *2* – melt; *3* – multi-phase winding;
4 – magnetic core of the inductor

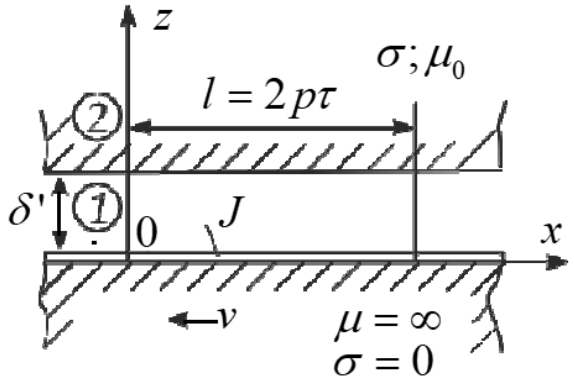


Fig. 2. Estimation model of MHD stirring:
1 – air gap area; *2* – metal area

The solution is in areas 1 and 2:

$$A_1 = e_y \underline{A}_{1y};$$
$$A_2 = e_y \underline{A}_{2y}. \quad (1)$$

In the area of the air gap 1, the following equation is true (2)

$$\frac{\partial^2 \underline{A}_{1y}}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \underline{A}_{1y}}{\partial x^2} = 0. \quad (2)$$

In the area of the metal 2, the vector potential corresponds to the equation (3)

$$\frac{\partial^2 \underline{A}_{2y}}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \underline{A}_{2y}}{\partial x^2} - i\mu_0 \sigma \omega_0 \underline{A}_{2y} = 0. \quad (3)$$

Due to solving these equations, it is possible to obtain expressions in general form for finding electromagnetic power and force, and then proceed to the characteristics showing optimal characteristics for the MHD systems being developed using non-sinusoidal current.

The use of a non-sinusoidal periodic current provides a number of advantages:

the presence of pulsating electromagnetic forces contributes to the elimination of micro-inhomogeneities in a multicomponent melt (higher harmonics);

the possibility of using various forms of current (trapezoidal, exponential, etc.);

the lack of change in the electric current during the steady state, accompanied by absence of reactive power consumption in this period.

In conclusion we would like to say that the study under consideration makes it possible to solve such problems as unequal mixing that is a special focus of perspective master's dissertation.

Calculation procedure developed on the basis of this article has a broader prerspective in the development of industrial metallurgical equipment. For each enterprise, MHD stirrers are designed according to individual characteristics, in connection with which the developed algorithms will help to significantly simplify and improve the process of developing and putting into operation off-the-shelf equipment.

References

1. Baake E., Barglik J., Jakovics A., Khatsayuk M., Lupi S., Nikanorov A., Pavlov E., Pavlovs S., Pervukhin M., Timofeyev S., Tomifeyev V. MHD technologies in metallurgy. Intensive Course Specific IV. St. Petersburg: Publishing house of ETU. 2013. P. 104–110.

2. Voldek A.I. Induction MHD machines with liquid metal working body. Publishing house “ЭНЕРГИЯ”, 1970. P. 5–34.

UDC 621.311.212

CHALLENGES FOR SMALL AND MICRO HYDROPOWER IN THE WORLD

V. E. Kozhemyakin[1]
Language supervisor – V. V. Vonog[2], Candidate of Cultural Studies

[1, 2]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
vek.group@mail.ru

The contemporary environmental and energy initiatives of many decades have resulted in the widespread construction of power plants that convert energy from renewable sources. In the field of small-scale power generation, small hydroelectric power plants (HPPs) stand out as the most established technology. Small HPPs convert clean energy into electricity without damaging the environment.

In addition to environmental safety, small HPPs are more power stable than wind or solar power plants. The long history of utilizing small HPPs to provide power to remote or isolated consumers enables the analysis of available experience to create new, more efficient sources of renewable energy that are stable and predictable compared to other renewable energy sources.

Small HPPs constructed using the derivation scheme are more cost-effective than those constructed using the dam scheme. It is clear that in order to generate head in the derivation scheme, a natural difference in height is required, which can mainly be obtained in mountainous regions. Therefore, the authors [1] assess the dependability of a standalone mini-grid in Nepal that incorporates multiple small HPPs with a capacity of up to 23 MW. Two indicators, LOLE (loss of load expectation) and EENS (expected energy not supplied), are calculated to demonstrate the mini-grid's reliability. The calculation shows that small hydropower plant mini-grids have better reliability values than other mini-grids in Nepal. It is vital to consider reliability indicators during the design stage of a small hydropower plant.

The authors [2] assessed the effectiveness of a 25 kW micro hydropower plant located in East Java. The plant supplies electricity to Seloliman village and also sells electricity to the grid. The reliability of the plant's operation was evaluated using feedback from the operating personnel. According to staff, interruptions in the operation of the micro HPP are solely related to maintenance and repairs of the hydropower plant elements. As a result of climatic nuances, winter

© Kozhemyakin V. E., 2024

low-water periods with potential riverbed freezing do not occur, therefore there are no failures caused by inadequate river flow rate.

In [3], the authors propose utilizing a PID control-based control algorithm with a piecewise variable coefficient to enhance the dependability of power supply to hilly regions from miniature hydroelectric power plants. This technique of regulating the system is intended to lessen the degree of over-regulation in the island micro-grid when it is detached from the power network, as well as to guarantee the ability to operate in a sequestered mode. The use of a control terminal with the developed algorithm has improved the reliability of power supply in a mountainous area of Guangdong Province, China.

The aim of the work [4] is to enhance the reliability of power supply to isolated areas that may experience disconnection from the power system during emergencies. The authors concentrate on micro-grids that are connected to the power system through a single-line while also incorporating small-scale HPPs (hydroelectric power plants) in their composition. At the same time, the authors note that in the mountainous region under study, it is typical to construct small HPPs with daily regulation reservoirs. Such reservoirs create an energy reserve essential for frequency regulation when operating in island mode for 12 hours. Based on the work results, a microgrid control system has been proposed. This system improves the reliability of power supply for a network with a small HPP without requiring additional energy storage systems.

An example of how small hydropower plants can be a crucial source of electricity that promotes the growth of local economies is [5]. The authors of this paper demonstrate the significance of supplying electricity from a small hydropower plant to the village of Bulongwa in Tanzania. They explain that the cost-effective electricity generated by the small hydropower station stimulates the development of commercial activities that were previously reliant on diesel generators. The paper presents information regarding power cuts during a 12-day duration, including their frequency and duration. A total of 10 outages took place over a period of 9 days (216 hours), resulting in a failure intensity value of 0.046 h^{-1}. The high failure rate is attributed to aging equipment and unavailability of factory spare components, as reported in the article.

In [6], the authors endeavor to enhance a solar-hydraulic power plant's composition and the capacities ratio. They opt for a micro-hydropower plant located on an irrigation canal with a steady water flow rate, situated in the Yogyakarta province of Indonesia. The optimization of the hybrid power generation system's composition is performed using the Particle Swarm Optimization (PSO) method. During the calculation, an energy storage system installation is proposed. The economic calculations show that the cheapest option is a small hydropower plant. Incorporating a solar power plant and increasing its capacity from 0 to 40 kW with a step of 10 kW increases capital costs. This change has an insignificant impact on the released value of electricity and its cost price. As

a conclusion, the authors suggest that the best option for this area would be a compact HPP with a 622 kW capacity.

It is possible to use micro HPPs to decrease the amount of electricity consumed by some local organizations. Reference [7] discusses the usage of these plants in drinking water supply systems. This option allows to reduce the cost of purchasing electricity by utilizing the plants' own output, and highlights the distinct stability in generation of micro-hydro plants when compared to those that rely on solar or wind power.

The previous studies demonstrate the significance of small hydropower for several isolated consumers, unconnected to larger energy systems. Simultaneously, the studies [1-7] indicate that the consumers of small hydropower plants are limited to a small group of individuals predominantly involved in agriculture. Hence, it is crucial to accurately assess the necessary capacity of small hydropower plants. Researchers from various countries are involved in the development and decision-making processes concerning the capacity of small-scale HPPs.

In [8], an illustration of the bottom-up method is provided, in which the necessary capacity is estimated using accessible data for a straightforward speculative estimate. Hence, taking the example of a small hydropower station located in Tanzania, it is demonstrated that using the bottom-up approach to estimate the load schedule lowers the average value of the load profile, making it possible to ascertain additional capacity that can be leveraged for profit. The rise in profit will shorten the payback period and enhance the investment appeal of the small-scale hydropower scheme.

Using software systems for small hydropower plant design can simplify the process, reduce design time and allow for comparison of multiple facility variants. A basic methodology for assessing the energy potential of a river for energy utilization is given in [9], based on the region's demand for electricity. This allows projects to be developed that meet existing needs. At the same time, there is no significant rise in the capacity of a small HPP, which would result in an increase in its cost.

The potential benefits of widespread implementation of small-scale hydropower systems are particularly relevant to developing nations, as the electrification of remote regions could significantly boost the economic growth of said areas. For instance, according to [10], the thriving development of small-scale hydropower in Nigeria could catalyze remarkable progress in the country's socio-economic sphere.

Small hydropower plants can positively affect the regional economy, beyond electricity production. In agricultural areas, it is recommended to combine small hydropower plants with irrigation dams, evaluating their complex impact on the region's economy. The authors [11] discuss the benefits of small and large dams on arable land in South Africa. They highlight the positive mutual

impact of small and large irrigation reservoirs, without considering the potential for hydroelectric power generation.

For warm climate countries, small rivers can be used consistently throughout the year as winter low water periods, typical of mid-latitudes, are absent. However, countries with a seasonal drop in air temperature below zero may find small hydropower plants unfeasible due to the lack of an energy carrier. In [12], the authors suggest the use of a hydrogen energy storage system to power the microgrid during winter months by utilizing the stored hydrogen. In [12], the authors suggest the use of a hydrogen energy storage system to power the microgrid during winter months by utilizing the stored hydrogen. They demonstrate the significant economic benefits of storing hydrogen for extended periods.

The environmental agenda is driving some states towards adopting hydrogen production systems that utilize renewable energy sources. For instance, in [13], the authors demonstrate how excess flow from an 18.4 MW mini hydroelectric power plant can be utilized to create hydrogen, which can then be supplied to neighboring cities to power urban transportation. This solution aims to minimize greenhouse gas emissions and maximize energy utilization from a small watercourse.

The authors [14] also examine the construction of small hydropower plants with a capacity of up to 10 MW. The paper discusses the challenges faced in the USA when attempting to coordinate the design of a small hydropower plant involving all relevant agencies. The authors recommend conducting a multifactor assessment of the project's impact to enhance the probability of executing small hydropower projects on non-power dams.

Conclusion. In both developing and developed countries, there is a requirement to construct and plan small hydropower stations in the contemporary world. This need may arise due to the inability to supply power to consumers from alternative sources. It could also stem from the desire to enhance the energy efficiency of small waterways, promote the integrated use of water resources, or gain extra income from dams for non-energy objectives. Additionally, generating energy using micro-hydropower plants can decrease energy expenses for different enterprises.

The establishment of control systems for small hydropower plants enables them to uphold frequency and voltage in isolated or islanded microgrids. Streamlining the design process for small hydropower plants will accelerate, simplify and reduce the cost of projects, making them more appealing to investors or consumers.

One should not overlook the cost-effectiveness of hydropower. Small hydropower plants with no fuel or oil expenses are highly competitive. Building small dams can regulate river flow in just a day, ensuring dependable power supply to consumers from small HPPs.

Small HPPs have become a versatile solution for various tasks worldwide. The high prospectively and environmental friendliness of this electric power generation technology mandate scientists to research methods to determine the most optimal capacity, size and structure of small HPPs. Tasks involved in researching vast territories' geographical features and a large number of small watercourses to determine guaranteed capacities in the absence of sufficient hydrological series are just some of the challenges to be addressed when supporting the worldwide development of small hydropower.

References

1. N. R. Karki, N. P. Gyawali, M. K. Singh, M. Badrudoza and S. Paudyal, "Adequacy assessment of micro-hydro based mini-grid," 2016 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech), Phoenix, AZ, USA, 2016, pp. 147–150.

2. H. L. Bestari, I. N. S. Kumara and W. G. Ariastina, "Performance Evaluation of 25 KW Community Microhydro in Seloliman Village East Java," 2018 International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS), Bali, Indonesia, 2018, pp. 144–149.

3. G. Wang, Z. Chen, Z. Wang, Z. Xu, Z. Zhang, Y. Liu, X. Zhang, "Research and implementation of frequency control strategy of islanded microgrids rich in grid-connected small hydropower", Energy Reports, Volume 9, 2023, P. 5053–5063.

4. Z. Zhang, X. Yang, Z. Wang, Z. Chen, Y. Zheng, "Highly applicable small hydropower microgrid operation strategy and control technology", Energy Reports, Volume 6, 2020, P. 3179–3191.

5. J. M. Ngowi, L.t Bangens, E. O. Ahlgren, "Benefits and challenges to productive use of off-grid rural electrification: The case of mini-hydropower in Bulongwa-Tanzania", Energy for Sustainable Development, Volume 53, 2019, P. 97–103.

6. R. Syahputra, I. Soesanti, "Renewable energy systems based on micro-hydro and solar photovoltaic for rural areas: A case study in Yogyakarta, Indonesia", Energy Reports, Volume 7, 2021, P. 472–490.

7. R. Gono, M. Novak, M. Gono and M. Kyncl, "Utilization of small hydropower," 2013 13th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Wroclaw, Poland, 2013, pp. 348–351.

8. F. Riva, L. Berti, S. Mandelli, J. Pendezza and E. Colombo, "On-field assessment of reliable electricity access scenarios through a bottom-up approach: The case of Ninga SHPP, Tanzania," 2017 6th International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), Santa Margherita Ligure, Italy, 2017, pp. 340–346.

9. M. Mohibullah, A. M. Radzi and M. I. A. Hakim, "Basic design aspects of micro hydro power plant and its potential development in Malaysia," PECon

2004. Proceedings. National Power and Energy Conference, 2004., Kuala Lumpur, Malaysia, 2004, pp. 220–223.

10. W. S. Ebhota, P. Y. Tabakov, «The place of small hydropower electrification scheme in socioeconomic stimulation of Nigeria», International Journal of Low-Carbon Technologies, Volume 13, Issue 4, December 2018, P. 311–319.

11. E. Blanc, E. Strobl, «Is Small Better? A Comparison of the Effect of Large and Small Dams on Cropland Productivity in South Africa», The World Bank Economic Review, Volume 28, Issue 3, 2014, P. 545–576.

12. L. Jin, M. Rossi, A. M. Ferrario, J. C. Alberizzi, M. Renzi, G. Comodi, "Integration of battery and hydrogen energy storage systems with small-scale hydropower plants in off-grid local energy communities", Energy Conversion and Management, Volume 286, 2023, 117019.

13. D. J. Jovan, G. Dolanc, B. Pregelj, "Utilization of excess water accumulation for green hydrogen production in a run-of-river hydropower plant", Renewable Energy, Volume 195, 2022, P. 780–794.

14. C. Hansen, M. Musa, C. Sasthav, S. DeNeale, "Hydropower development potential at non-powered dams: Data needs and research gaps", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 145, 2021, 111058.

UDC 621.763

CHALLENGES AND CONSIDERATIONS FOR THE WIDESPREAD USE OF CARBON FIBER IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

A. Y. Martynov[1]
Language supervisor – S. V. Polikarpova[2]

[1, 2]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[1]wolfender64@gmail.com

This paper explores the potential and challenges of integrating carbon fiber into the automotive industry. It discusses the current demand for lightweight materials and the role of carbon fiber in achieving fuel efficiency and environmental objectives. The study also highlights the limitations and drawbacks associated with its adoption, including high production costs, extended manufacturing cycles, low resistance to high temperatures, and fire hazards. The research methodology involves analyzing documented cases of carbon fiber ignition in motorsport and civilian use, including incident details, ignition speed, duration, and driver injuries. Data were collected from reliable sources, including race reports, eyewitness accounts, and official investigations.This research contributes to the ongoing discussion on proper safety measures to be implemented to mitigate these hazards and protect human lives.

With the beginning of a new era of fuel efficiency and environmental friendliness in the automotive industry, manufacturers are developing new composite materials used for making cars to reduce weight, which leads to lower fuel consumption. More than 70 years ago, wood was employed to create body panels due to metal shortages in the post-war world. Today, humanity faces the problem of overusing of finite natural resources. Fuel prices are rising every day. Manufacturers require the use of recyclable and lighter materials.Following modern trends in automotive design, one cannot do without materials such as plastic, fiberglass, and carbon fiber. These materials allow car factories to create complex body shapes. Leading automakers are experimenting with the introduction of carbon fiber into cars design. Carbon fiber is used in many industries, such as aircraft manufacturing and energy production, where it has proven its best. Carbon fiber is two times lighter than aluminum and five times lighter than steel, and it is also stiffer but has less bending strength. This material can resist strong impacts if the thickness of the part is increased. For example, Aston Mar-

© Martynov A. Y., 2024

tin produced the new model called Valkyria, which frame and aerodynamic elements are made from carbon fiber. Therefore, the car weighs only 1030 kilograms. Only carbon fiber wings and diffusers can provide downforce of 2 tons. Carbon fiber is used not only in supercars but also in compact urban electric cars. BMW I3 had a frame made of carbon fiber and bottom aluminum frame for high-voltage battery. The BMW concern considered the project unsuccessful in terms of profitability, but the car's characteristics were better than those of its competitors. At the same time, BMW partially introduced carbon fiber into the BMW 7-series G11. The company has postponed the use of carbon fiber in mass-produced cars for an indefinite period.

There are several reasons why carbon fiber is not widely used in the automotive industry. The first is the demand of other industries. Aircraft industry needs light and stiff materials to make flights cheaper, and windmills need carbon fiber to make blades to increase generator efficiency. Carbon fiber factories are more focused on these industries than on cars. Secondly, expensive production. It is on average 5-7 times more expensive than aluminum, depending on the application. It also requires a long production cycle, from weaving the threads and firing them to the production of thermosetting pitch for gluing the fabric and firing it in ovens to create a durable part [1]. On the other hand, you can make complex parts that cannot be made from metal. Klaus Drexler, head of MAI Carbon, claims that in the future, the cost of carbon fiber could be reduced by 90 percent due to improved and optimized production [2]. Thirdly, low resistance to high temperatures. For example, a car hood made of carbon fiber will lose its strength properties over time due to constant exposure to heat from the engine. From the third point comes the fourth- most dangerous: fire hazard. The pitch that binds the fibers burns and produces large amounts of toxic black smoke.

Since motorsport is the engine of automotive progress, carbon fiber is widely used in it.This study analyzes some notable incidents, such as the F1 Bahrain Grand Prix in 2020, RDS GP events in Sochi (2021) and Krasnoyarsk (2023), where carbon fiber parts ignited and resulted in significant damage. In 2020, during the F1 Bahrain Grand Prix, on the first lap, French racer Romain Grosjean hit the barrier at a speed of 192 km/h. The car instantly caught fire, and it took less than 1 minute for it to burn completely. Romain Grojean escaped 28 seconds after the hit, and despite the fireproof suit, received several painful burns. After the fire, all that was left on the front of the car was a titanium survival cell [3]. In 2021, during the RDS GP in Sochi, Arkady Tsaregradtsev suddenly caught fire while driving on the track. Due to the ignition of the tires, the rear body kit made of carbon instantly caught fire. The pilot was able to bring the car to the fire station and get out of it. By this point, the entire rear of the car was on fire, and acrid smoke filled the cockpit. It took less than 30 seconds from the start of the fire to complete smoke in the car interior. The same incident happened in Krasnoyarsk in 2023 on RDS GP. Evgeniy Losev's car caught fire af-

ter driving through the race track due to a tire fire. Thanks to the quick actions of rescuers, it was possible to save most of the car, unlike in the Sochi incident. Nevertheless, acrid smoke just as quickly filled the car's interior, completely blocking the view of the pilot inside[4].

Furthermore, incidents in civilian use have been also documented. As in professional motorsport championships, in civilian use, cars with an abundance of carbon fiber burn out in a matter of seconds. In 2023, during transportation, one of the 275 unique Mercedes AMG One hypercars burned out as a result of an electrical failure. The car, made of carbon fiber, burned completely, with the exception of metal parts. Also,there have been a few cases of BMW I3 self-combustion. For example, in 2016, in Italy, BMW I3, which was used as a police car, started smoking while driving. The police officers tried to extinguish it with a powder fire extinguisher, but it was not enough, and the car caught fire.

Based on the experience gained from motorsports, and the civilian exploitation of carbon fiber vehicles, we can conclude that there is a critical danger. Fortunately, in motorsports, there are a huge number of measures that are needed to save the life of a pilot in a fire, such as fireproof suits, fire extinguishing systems, rescuers with fire extinguishers located along the entire length of the track. Pilots and emergency services need to act quickly to prevent tragedies. As stated above, this time should not exceed 30 seconds from the moment of ignition. What can happen to a civilian who gets into an accident in a carbon car? High-voltage hybrid batteries, fuel tanks, engines, and exhaust systems can become sources of intense ignition. It is worth considering that in everyday use, the driver does not wear a helmet and a mask that protect from fire and smoke, the car does not have an automatic fire extinguishing system installed, and there will be no rescuers nearby who are ready to extinguish the car within a few seconds after the fire starts. Classic metal cars burn 3-5 times slower, which, at least a little, gives time to leave the car or gives time to surrounding people to pull the person out of the cabin before the fire completely engulfs the car. It is worth noting that most cars are equipped with powder fire extinguishers, while a carbon dioxide fire extinguisher is suitable for extinguishing carbon fiber.

Based on the above, we can conclude that there are the significant fire risks associated with carbon fiber components, both in motorsport and civilian vehicles. The rapid ignition and quick spread of fire within the cockpit pose serious dangers to drivers and occupants. Proper safety measures, including fire suppression systems and improved material fire resistance, should be implemented to mitigate these hazards and protect human lives. If carbon fiber is only utilized to replace a few parts, it can be a safe and affordable alternative for mass-produced automobiles.Further research and development efforts should focus on enhancing the fire resistance properties of carbon fiber materials to minimize the risk of ignitions and their potentially catastrophic consequences.

References

1. Tasuns Composite Technology Ltd. Comparison of Aluminum and Carbon Fiber Materials [Electronic resource]. Access: https://ru.custom-composite.com/info/ (in Russian).

2. Aleeva S. Why carbon fiber is not used in the mass automotive industry [Electronic resource]. Access: https://www.avtovzglyad.ru/article/2014/10/16/614948-pochemu-karbon-ne-ispolzuetsya-v-massovom-avtoprome.html (in Russian).

3. FIA concludes investigation into Romain Grosjean's accident at 2020 Bahrain Formula 1 GrandPrix and releases 2021 circuit racing safety initiatives [Electronic resource]. Access: https://www.fia.com/news/fia-concludes-investigation-romain-grosjeans-accident-2020-bahrain-formula-1-grand-prix-and.

4. Autosport.com.ru [Electronic resource]. Access: https://autosport.com.ru/features/85780-ostalos-tolko-utonut-cherez-avarii-i-pozhar-k-dublyu-v-rds-gp(in Russian).

UDC 658.56:006.01=111

IMPORTANCE OF STANDARDIZATION IN QUALITY MANAGEMENT AT ENTERPRISES

A. V. Nekhorosheva[1], D. A. Terenteva[2]
Language Supervisor – T. V. Stupina[3]

[1, 2, 3]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[1]nekhorosheva_anna@icloud.com, [2]dasha.terenteva2004@mail.ru

Russia's activity on the world market of goods and services always and in any conditions poses an important issue to ensure the competitiveness of its products. To achieve this goal, several factors are taken into account, one of which is the ratio between price and quality. Considering these circumstances, intensive work is currently underway to improve the quality of products so that they successfully compete on the world market and meet the needs of consumers.

To ensure the quality of products, it is necessary to mark several components, which are shown in the diagram by Euler circles.

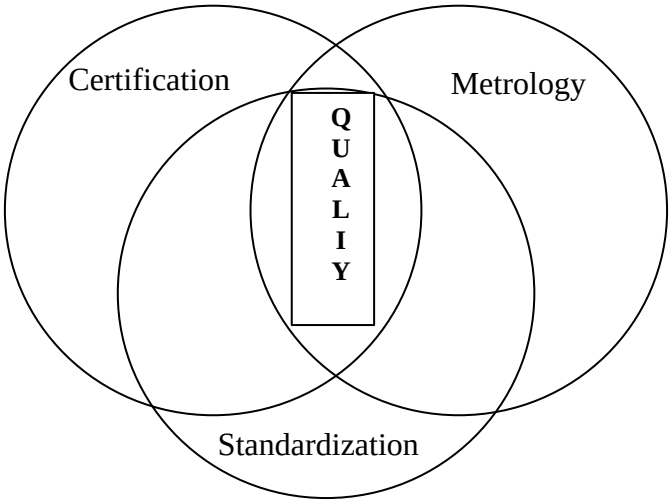


Fig. 1. Euler circles

These components include various aspects that affect the quality of the final product. The main factors to consider include, for example, raw materials used in production, processes, design quality and standards, as well as quality control at different stages of production. Interaction and a harmonious balance between these components are crucial for achieving the desired level of product quality and, ultimately, meeting the requirements of consumers.

© Nekhorosheva A. V., Terenteva D. A., 2024

According to the diagram, it becomes clear that standardization is one of the key components in ensuring high quality products. However, to achieve this goal, it is also necessary to develop other aspects, such as metrology and certification. These components play an important role in establishing and confirming quality standards, as well as in ensuring that products comply with established standards and requirements. The combination of standardization, metrology and certification creates an integrated approach in ensuring high quality, which promotes consumer confidence, increases the competitiveness of products and strengthens the positions of enterprises in the global market.

Standardization is the process of developing and establishing standards, rules and characteristics that can be both mandatory and recommended. These standards are aimed to ensure the rights of consumers to purchase high-quality goods at a reasonable price, as well as to ensure safety and comfort in the workplace. In addition, standardization not only establishes product requirements, but also serves as a tool to facilitate the exchange of goods and services, increase the efficiency of processes and increase consumer confidence in products and services.

One of the main goals of standardization is to achieve optimal ordering of a certain area through the wide and repeated use of established provisions, requirements and norms to solve both existing and planned or potential tasks. In the course of standardization work, norms, rules, requirements and other provisions are developed, which are issued as normative documents, such as standards, technical specifications, codes of rules, regulations, etc. These regulatory documents serve as a basis for ensuring uniform standards and simplifying processes in various fields, and also contribute to improving product quality, exchanging goods and services, reducing risks and improving reliability in various sectors of the economy.

Standardization leads to several important results, including increasing the conformity of products and processes to their functional purpose, removing technical barriers to international trade, promoting scientific and technological progress and cooperation in various fields, as well as improving the quality and availability of products. The experience of other countries confirms that quality is one of the main factors affecting the commercial component of all participants in economic activity.

The quality system is an organizational approach at the enterprise that allows you to produce and offer products to the consumer that meet his/her requirements. For the consumer, the quality system is the basis for trust in this enterprise, providing a guarantee of receiving products that fully meet the needs and expectations. This is an approach that helps to achieve a high level of quality management and increase consumer confidence in the products offered.

In order to develop effective quality systems, ISO 9004 standards and more than a dozen other standards have been created at enterprises, which serve as guidelines for the development of a quality system. There are also three main standards – ISO 9001, ISO 9002 and ISO 9003, which are designed to evaluate the quality system by the consumer or a third party. These standards are essen-

tial tools for ensuring that products meet the established requirements and allow enterprises to evaluate the effectiveness of their quality management system.

ISO standards play an important role in quality management. They represent an internationally recognized set of rules that companies can follow to ensure the high quality of their goods and services. These standards cover a wide range of issues, including management fundamentals, product requirements and quality assurance methods. They provide a framework that enables businesses to develop and implement quality management systems that best match their operations and goals. Following ISO standards helps companies improve the reliability of their processes and optimize them.

By using ISO standards, organizations can achieve process improvements, reduce errors and prevent defects, improve customer satisfaction and provide competitive advantages. ISO standards also contribute to the creation of a unified structure and language of interaction between companies and their customers.

Experts from all over the world develop and regularly review ISO standards to ensure their compliance with the best practices in various industries. Organizations that demonstrate commitment to quality and sustainability by complying with ISO standards have a better chance of attracting customers and investors, which is not unimportant for the Russian economy.

Quality management requires a combination of standardization and continuous improvement. Standardization involves the process of developing and implementing standardized procedures, methods and practices in an organization to ensure consistency and uniformity in the products or services offered. Continuous improvement, on the contrary, means constant efforts to improve the quality of these products or services over time.

Standardization and continuous improvement are closely linked. Standardization provides a framework for established procedures that can be evaluated and improved, paving the way for continuous improvement. Standardized processes make it easier for organizations to identify areas for improvement and track progress. As a result, they gradually improve their products or services, increasing efficiency and customer satisfaction.

Continuous improvement is required to maintain the effectiveness of standardization. If standardization is not constantly improved, it can stop and lead to outdated processes that are no longer effective to meet the needs of the organization and its customers. By continuously evaluating and improving standardized procedures, organizations can ensure their relevance and effectiveness in a changing business environment and customer requirements.

One of the most difficult aspects of implementing quality management standardization is the resistance to change on the part of employees who may not want to introduce new processes or not realize the benefits of standardization. To overcome this problem and increase their interest, it is very important to inform about the importance of standardization and actively involve them in the implementation of processes.

Another problem is ensuring the effectiveness of standardization processes, which requires constant monitoring, evaluation and improvement of processes in order to achieve the set goals (as mentioned earlier, but in a positive way). This may require considerable time and the use of specialized resources.

It should be also taken into account that standardization is not suitable for all organizations or industries. Some businesses may need more flexibility or customization in quality management processes to meet customer requirements or industry standards. Therefore, before implementing standardization, it is necessary to view all specific needs of the organization.

An example of successful implementation of standardization is the United Company RUSAL and its Krasnoyarsk Aluminium Smelter. The main goal of RUSAL's production strategy is to increase the output and variety of products that have a high added value. The company also focuses on ensuring the quality of products, regarding the needs and expectations of consumers. Since the foundation of the company, product quality issues have been given priority. In 2018, RUSAL adopted a corporate Quality Policy, which defines the basic principles of operation and directions of development of the quality management system. The company provides production facilities with the necessary resources for the production and quality control of its products. The main task is to optimize and standardize all processes, therefore, the company has launched projects for process certification. With the help of new technologies, quality management tools and production systems, processes are optimized, standardized and stabilized.

Summarizing, we stress again the fact that the adoption of international quality management standards, such as ISO 9001, is an effective way to integrate standardization in the field of quality management. This standard defines, implements, maintains and continuously improves the quality management system of the organization. This ensures a consistent and globally recognized approach to quality management.

Creating a quality management team responsible for implementing and monitoring an organization's quality management system is the best practice. This team should be well acquainted with the standardization process and clearly represent the organization's goals in the field of quality.

Organizations should review their quality management system regularly to identify areas for improvement and ensure its relevance and effectiveness. Internal audits and feedback from customers and stakeholders can help achieve this goal.

References

1. Ogvozdin V. Yu. *Upravlenie kachestvom: Osnovy teorii i praktiki* [Quality management: Fundamentals of theory and practice]. Moscow. 2017. 272 p.

2. Prokhorov Yu. K. *Upravlenie kachestvom* [Quality management]. St. Petersburg. 2007. 144 p.

3. Rebrin Yu. I. *Upravlenie kachestvom* [Quality management]. Taganrog. 2004. 174 p.

UDC 517.55

ON THE $(\bar{\partial}u)^k$ - EQUATION ON POSITIVE CURRENTS OF HIGHER BIDEGREE

T. N. Nikitina[1]
Scientific Supervisor – A. A. Nikitin[2]
Language Supervisor – T. V. Stupina[3]

[1, 2, 3]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[2]AANick@yandex.ru

Let M be a complex manifold and T a positive current in M. If u and f are smooth differential forms on M we say that

$$\left(\bar{\partial}u\right)^k = f \quad on \quad T \quad if \quad \left(\bar{\partial}u\right)^k \wedge T = f \wedge T\,.$$

The subject we study is whether the $\left(\bar{\partial}u\right)^k$-equation can be solved on T, and, if so, what kinds of estimates one can find for the solution.

Solvability of $\left(\bar{\partial}u\right)^k$-equations in the case $k=1$ is classical. See [1], [2].

The next proposition is important in the proof of the priori inequality for $\left(\bar{\partial}u\right)^k$-operator.

Let $e_1,...,e_{n+1}$ be a basis for the space of (1,0) -forms in C^{n+1}. Write $\gamma = \sum \gamma_{\mathrm{JK}} e_{\mathrm{J}} \wedge \bar{e}_K$ and partition γ into a sum $\tau+\sigma$ depending on whether J belongs to K (the τ-part) or not

$$\gamma = \sum_{j_1\in K} e_{j_1} ... \sum_{j_p\in K} \gamma_{JK} e_{j_p} \wedge \bar{e}_k +$$

$$+(\sum_{r=1}^{p-1} \sum_{|M|=r} \sum_{j_1\notin K} e_{j_1} ... \sum_{j_{m_1-1}\notin K} e_{j_{m_1-1}} \sum_{j_{m_1}\in K} e_{j_{m_1}} \sum_{j_{m_1+1}\notin K} e_{j_{m_1+1}} ...$$

$$... \sum_{j_{m_r-1}\notin K} e_{j_{m_K-1}} \sum_{j_{m_r}\in K} e_{j_{m_K}} \sum_{j_{m_r+1}\notin K} e_{j_{m_K+1}} ... \sum_{j_p\notin K} \gamma_{JK} e_{j_p} \wedge \bar{e}_k +$$

$$+ \sum_{j_1\notin K} e_{j_1} ... \sum_{j_p\notin K} \gamma_{JK} e_{j_p} \wedge \bar{e}_k) = \tau + \left(\sum_{r=1}^{p-1} \sigma_r + \sigma_0 \right) = \tau + \sigma.$$

© Nikitina T. N., 2024

In the case p=1 this partition is given in [3].

Proposition 1. The quadratic form is defined by

$$[\gamma,\gamma]\sigma_T = c_{q+p}\gamma\wedge\bar{\gamma}\wedge\omega_{n-q-p}\wedge T,$$

decompose on positive definite $[\sigma_r,\sigma_r]\sigma_T$ *if* $(-1)^{p+r}=-1$ *and negative definite* $[\tau,\tau]\sigma_T$, $[\sigma r,\sigma r]\sigma_T$ if $(-1) = 1$, $1 \le r \le p-1$ *on the space of primitive forms in* $\Lambda_T^{p,q}$. (*In the case* $p = 0$ *form* $[\tau,\tau]\sigma_T$ *is positive definite, under* $p = 2k+1$ *form* $[\sigma_0, \sigma_0]\sigma_T$ *is negative and under* $p = 2k$ *is positive definite*.)

Proof. Choose a basis $e_1,...,e_{n+1}$ for the space (1,0)-forms in C^{n+1} that diagonalizes both ω and T. Let $dV_j = ie_j\wedge\bar{e}_j$ and $dV_J = \Lambda_J dV_j$. Then $\omega=\sum dV_j$, $T=\lambda_J dV_J$ and

$$T\wedge\omega_{n-q-p+1} = \sum_{|K|=n+l-q-p+1}\ \sum_{1\le i_1<i_2\ldots<i_{n-q-p+1}\le n+l-q-p+1} \lambda_{K\left[k_{i_1}k_{i_2}\ldots k_{i_{n-q-p+1}}\right]} dV_K$$

if we let

$$\lambda_{J\left[j_{i_1}j_{i_2}\ldots j_{i_{n-q-p+1}}\right]} = \lambda_{j_{i_1}\ldots j_{i_1-1}j_{i_1+1}\ldots j_{i_2-1}j_{i_2+1}\ldots j_{i_{n-q-p+1}-1}j_{i_{n-q-p+1}+1}\ldots j_{i_{n+l-q-p+1}}}.$$

Lemma 1. Let $\lambda_I \ge 0$ and presuppose $\sum\lambda_I = 1$. Then

$$\sum_{|M|=r}\sum_{|P|=r}\sum_{J_M\cap L_P=0}\sigma^r_{J_M}\overline{\sigma^r_{L_P}}\sum_{1\le i_1<i_2<\ldots<i_{N-l-2r}\le N}\lambda_{(J_M\cup L_P)^c\left[l_{i_1}l_{i_2}\ldots l_{N-l-2r}\right]}\le$$

$$\le\left|\sum_{|M|=r}\sigma^r_{J_M}\sum_{1\le i_1<i_2<\ldots<i_{N-l-r+1}\le N}\lambda_{(J_M)^c\left[l_{i_1}l_{i_2}\ldots l_{N-l-r+1}\right]}\right|^2,\quad 1\le r\le p-1.$$

Lemma 2. Let $\lambda_I \ge 0$ and presuppose $\sum\lambda_I = 1$. Then

$$\sum_{J\cap L=0}\tau_J\bar{\tau}_J\sum_{1\le i_1<i_2<\ldots<i_{N-l-2p}\le N}\lambda_{(J\cup L)^c\left[l_{i_1}l_{i_2}\ldots l_{N-l-2p}\right]}\le$$

$$\le\left|\sum\tau_J\sum_{1\le i_1<i_2<\ldots<i_{N-l-p+1}\le N}\lambda_{J^c\left[l_{i_1}l_{i_2}\ldots l_{N-l-p+1}\right]}\right|^2.$$

Proof. Expanding the square on the right hand the inequality becomes

$$\sum|\tau_J|^2\left(2\sum_{1\le s_1<s_2<\ldots<s_{N-l-p+1}\le N}\ \sum_{\substack{1\le i_1<i_2<\ldots<i_{N-p+1}\le N\\ j_{i_1}j_{i_2}\ldots j_{i_{N-p+1}}\left[j_{s_1}j_{s_2}\ldots j_{s_{N-l-p+1}}\right]\cap J\neq 0}}\lambda_{j_{i_1}j_{i_2}\ldots j_{i_{N-p+1}}\left[j_{s_1}j_{s_2}\ldots j_{s_{N-l-p+1}}\right]}-1\right)-$$

$$\sum_{\substack{J\cap L\neq 0\\ J\neq L}}\tau_J\bar{\tau}_J\left(1-\sum_{1\le s_1<s_2<\ldots<s_{N-l-p+1}\le N}\ \sum_{\substack{1\le i_1<i_2<\ldots<i_{N-p+1}\le N\\ j_{i_1}j_{i_2}\ldots j_{i_{N-p+1}}\left[j_{s_1}j_{s_2}\ldots j_{s_{N-l-p+1}}\right]\cap J\neq 0}}\lambda_{j_{i_1}j_{i_2}\ldots j_{i_{N-p+1}}\left[j_{s_1}j_{s_2}\ldots j_{s_{N-l-p+1}}\right]}-\right.$$

$$\left.-\sum_{1\le s_1<s_2<\ldots<s_{N-l-p+1}\le N}\ \sum_{\substack{1\le i_1<i_2<\ldots<i_{N-p+1}\le N\\ l_{i_1}l_{i_2}\ldots l_{i_{N-p+1}}\left[l_{s_1}l_{s_2}\ldots l_{s_{N-l-p+1}}\right]\cap L\neq 0}}\lambda_{l_{i_1}l_{i_2}\ldots l_{i_{N-p+1}}\left[l_{s_1}l_{s_2}\ldots l_{s_{N-l-p+1}}\right]}\right)\le$$

$$\le\left|\sum\tau_J\sum_{1\le s_1<s_2<\ldots<s_{N-l-p+1}\le N}\ \sum_{\substack{1\le i_1<i_2<\ldots<i_{N-p+1}\le N\\ j_{i_1}j_{i_2}\ldots j_{i_{N-p+1}}\left[j_{s_1}j_{s_2}\ldots j_{s_{N-l-p+1}}\right]\cap J\neq 0}}\lambda_{j_{i_1}j_{i_2}\ldots j_{i_{N-p+1}}\left[j_{s_1}j_{s_2}\ldots j_{s_{N-l-p+1}}\right]}\right|^2.$$

Because both sides are quadratic forms in τ with real coefficients it is sufficient to check the inequality for τ real. We suppose all τ_J are pairwise different. The general case follows by continuity. For fixed τ we assume

$$F(\lambda)=\left[\sum\tau_J\sum_{1\le s_1<s_2<\ldots<s_{N-l-p+1}\le N}\ \sum_{\substack{1\le i_1<i_2<\ldots<i_{N-p+1}\le N\\ j_{i_1}j_{i_2}\ldots j_{i_{N-p+1}}\left[j_{s_1}j_{s_2}\ldots j_{s_{N-l-p+1}}\right]\cap J\neq 0}}\lambda_{j_{i_1}j_{i_2}\ldots j_{i_{N-p+1}}\left[j_{s_1}j_{s_2}\ldots j_{s_{N-l-p+1}}\right]}\times\right.$$

$$\times\sum_{\substack{J\cap L=0\\ L\neq J}}\tau_L\sum_{1\le s_1<s_2<\ldots<s_{N-l-p+1}\le N}\ \sum_{\substack{1\le i_1<i_2<\ldots<i_{N-p+1}\le N\\ l_{i_1}l_{i_2}\ldots l_{i_{N-p+1}}\left[l_{s_1}l_{s_2}\ldots l_{s_{N-l-p+1}}\right]\cap L\neq 0}}\lambda_{l_{i_1}l_{i_2}\ldots l_{i_{N-p+1}}\left[l_{s_1}l_{s_2}\ldots l_{s_{N-l-p+1}}\right]}+$$

$$\left.+\sum(\tau_J)^2\left(1-\sum_{1\le s_1<s_2<\ldots<s_{N-l-p+1}\le N}\ \sum_{\substack{1\le i_1<i_2<\ldots<i_{N-p+1}\le N\\ j_{i_1}j_{i_2}\ldots j_{i_{N-p+1}}\left[j_{s_1}j_{s_2}\ldots j_{s_{N-l-p+1}}\right]\cap J\neq 0}}\lambda_{j_{i_1}j_{i_2}\ldots j_{i_{N-p+1}}\left[j_{s_1}j_{s_2}\ldots j_{s_{N-l-p+1}}\right]}\right)^2\right]+$$

$$+\left[\sum\tau_J \sum_{1\le s_1<s_2<\ldots<s_{N-l-p+1}\le N} \sum_{\substack{1\le i_1<i_2<\ldots<i_{N-p+1}\le N \\ j_{i_1}j_{i_2}\ldots j_{i_{N-p+1}}\left[j_{s_1}j_{s_2}\ldots j_{s_{N-l-p+1}}\right]\cap J\neq 0}} \lambda_{j_{i_1}j_{i_2}\ldots j_{i_{N-p+1}}\left[j_{s_1}j_{s_2}\ldots j_{s_{N-l-p+1}}\right]}\times\right.$$

$$\times\sum_{\substack{J\cap L\neq 0 \\ L\neq J}}\tau_L \sum_{1\le s_1<s_2<\ldots<s_{N-l-p+1}\le N} \sum_{\substack{1\le i_1<i_2<\ldots<i_{N-p+1}\le N \\ l_{i_1}l_{i_2}\ldots l_{i_{N-p+1}}\left[l_{s_1}l_{s_2}\ldots l_{s_{N-l-p+1}}\right]\cap L\neq 0}} \lambda_{l_{i_1}l_{i_2}\ldots l_{i_{N-p+1}}\left[l_{s_1}l_{s_2}\ldots l_{s_{N-l-p+1}}\right]}+$$

$$+\sum_{\substack{J\cap L\neq 0 \\ J\neq L}}\tau_J\tau_L\left(1-\sum_{1\le s_1<s_2<\ldots<s_{N-l-p+1}\le N} \sum_{\substack{1\le i_1<i_2<\ldots<i_{N-p+1}\le N \\ j_{i_1}j_{i_2}\ldots j_{i_{N-p+1}}\left[j_{s_1}j_{s_2}\ldots j_{s_{N-l-p+1}}\right]\cap J\neq 0}} \lambda_{j_{i_1}j_{i_2}\ldots j_{i_{N-p+1}}\left[j_{s_1}j_{s_2}\ldots j_{s_{N-l-p+1}}\right]}-\right.$$

$$\left.\left.-\sum_{1\le s_1<s_2<\ldots<s_{N-l-p+1}\le N} \sum_{\substack{1\le i_1<i_2<\ldots<i_{N-p+1}\le N \\ l_{i_1}l_{i_2}\ldots l_{i_{N-p+1}}\left[l_{s_1}l_{s_2}\ldots l_{s_{N-l-p+1}}\right]\cap L\neq 0}} \lambda_{l_{i_1}l_{i_2}\ldots l_{i_{N-p+1}}\left[l_{s_1}l_{s_2}\ldots l_{s_{N-l-p+1}}\right]}\right)\right]=F_1(\lambda)+F_2(\lambda)$$

for λ in the simplex $\lambda_I\ge 0,\ \sum\lambda_I=1$. The proof of the inequality $F_1(\lambda)\ge 0$ comes down to the proof of the inequality [5]

$$\Delta_n^n=\begin{vmatrix} (1-\lambda_1)^2 & \lambda_1\lambda_2 & \ldots & \lambda_1\lambda_{n-1} & \lambda_1\lambda_n \\ \lambda_2\lambda_1 & (1-\lambda_2)^2 & \ldots & \lambda_2\lambda_{n-1} & \lambda_2\lambda_n \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ \lambda_{n-1}\lambda_1 & \lambda_{n-1}\lambda_2 & \ldots & (1-\lambda_{n-1})^2 & \lambda_{n-1}\lambda_n \\ \lambda_n\lambda_1 & \lambda_n\lambda_2 & \ldots & \lambda_n\lambda_{n-1} & (1-\lambda_n)^2 \end{vmatrix}\ge 0,$$

here $\lambda_i\ge 0\quad\sum_{i=1}^n\lambda_i=1.$

Theorem 1. *Let* $T\ge 0$ *be a closed* (l, l) *-current in* C^{nk+l} *and let* $\omega=i\partial\bar\partial|z|^2$ *be the Kahler form of the Euclidean metric in* C^{nk+l}. *Let* ϕ *be a plurisubharmonic function in* C^{nk+l} *satisfying* $i\partial\bar\partial\varphi\ge\omega$. *Then, for any* $\bar\partial_w$*-closed* (*nk, k*)*-form f on T with* $k\ge 1$ *there exists an* (*n*, 0) *-form u on T such that* $(\bar\partial_w u)^k=f$ *on T and* $\int\left|u\wedge(\bar\partial u)^{k-1}\right|^2_{\omega,T}\sigma_T e^{-\varphi}\le\frac{1}{k}\int|f|^2_{\omega,T}\sigma_T e^{-\varphi}.$

References

1 Harvey R. Holomorphic chains and their boundaries. Proceedings of Symposia in Pure Mathematics. American Mathematical Society. 1977 pp. 309–382.

2 Nikitina T. N. Ustranimye osobennosti na granice i $\bar{\partial}$-zamknutoe prodolzhenie CR-form s osobennostyami na porozhdayushchem mnogoobrazii [Removable singularities on boundary and $\bar{\partial}$-closed extension of CR-forms with singularities on a generic manifold]. Novosibirsk. 2008. 370 p.

3 Berndtsson B., Sibony N. The $\bar{\partial}$-equation on a positive current. Invent. math. 147(2). 2002. pp. 371–428.

4. Nikitina T. N. $\left(\bar{\partial}u\right)^n$ i uravnenie Monzha-Ampera na polozhitel'nyh potokah vysshej bistepeni [$\left(\bar{\partial}u\right)^n$ and Monge-Ampera equations on positive currents of higher bidegree]. Novosibirsk. 2019. pp. 175.

5. Nikitin A.A., Nikitina, T. N. O $\left(\bar{\partial}u\right)^n$ - i uravnenii Monzha-Ampera na polozhitel'nyh potokah vysshej bistepeni [On $\left(\bar{\partial}u\right)^n$ - and Monge-Ampera equation on positive currents of higher bidegree]. Ulan-Ude. 2022 pp. 55–57.

UDC 671.12

CUT GEM «THE STAR OF DAVID»

D. A. Parilova[1]
Language Supervisor – U. V. Klimuk[2], Candidate of Cultural Studies

[1, 2]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[1]fforvartoo@gmail.com

A gemstone desired to be used in jewelry is cut depending on the size and shape of the rough stone, as well as the desired piece of jewelry to be made. As a general rule, a cut gemstone will reduce the mass (in carats) by about 50%.

Among the several techniques used to work with gemstones are sawing, grinding, sanding, lapping, polishing, grilling, and tumbling. The diamond cut planning stage is a complex process that requires the cutter to work with unique rough stones. Very often, the location of the inclusions in a rough stone will determine the type of shape to which a diamond may be cut. For economic reasons, most diamonds are cut to retain weight instead of maximizing brilliance.

What is a cut?

Cut gemstones are either faceted or non-faceted. The extra sparkly stones common in jewelry today are likely faceted to reflect the most light. Non-faceted gems are either rough or smooth. Cutting gems into a desirable shape for jewelry is an ancient practice, but faceting did not begin until the 14th century.

Gem cutting styles differ for colored gemstones and diamonds. The two different types of stones are valued for different characteristics. Lapidaries, or gem cutters, must first assess each unique stone to determine the best practice for cutting. The most desirable-colored gemstones retain their color intensity in the cutting process, but retaining color is not usually the goal for diamonds (Fig. 1).

Facets are flat, angled planes cut into transparent stones to enhance their clarity and beauty. Faceted gems reflect light off the surface of the facets, which provides additional scintillation or sparkle. The table, or the flat surface on the crown of a gemstone, is the largest and most prominent facet. Star facets surround the table, break facets encircle the midsection, and pavilion facets are located on the bottom half of the gem. Each different type of facet reflects light in a different direction.

© Parilova D. A., 2024

At the end of the 15th century the Bruges polishing master got down to business. He came up with the idea of arranging the faces of the mineral in absolute symmetry. I used my own invention for this. To achieve the perfect result, Bruges shaped the diamond into a pear and a triangle.

After another half a century, a new fashionable cut appeared - rosette or rose. The first stones processed in this way adorned the jewelry of Belgian craftsmen. The rose finish was and remains more than popular, because most of the largest diamonds in the world were treated with rose. An example of this is Sancy (Fig. 2) and Orlov (India).

Popular types of bevel cuts: princess, octagon, oval, marquise, baguette and others. Gemstone cuts are classified into round and fancy diamond cuts. Fancy cut shapes are divided into wedge-shaped (oval, marquise, pear, princess, flanders) and stepped (octagon, asscher and baguette).

The abundance of varieties and techniques allows you to make the stone more attractive, using its natural properties and structural features. There are a great many types of stone cuts. Cutters fantasize and strive to create unusual variations of familiar shapes. New techniques and designs regularly appear on the jewelry market.

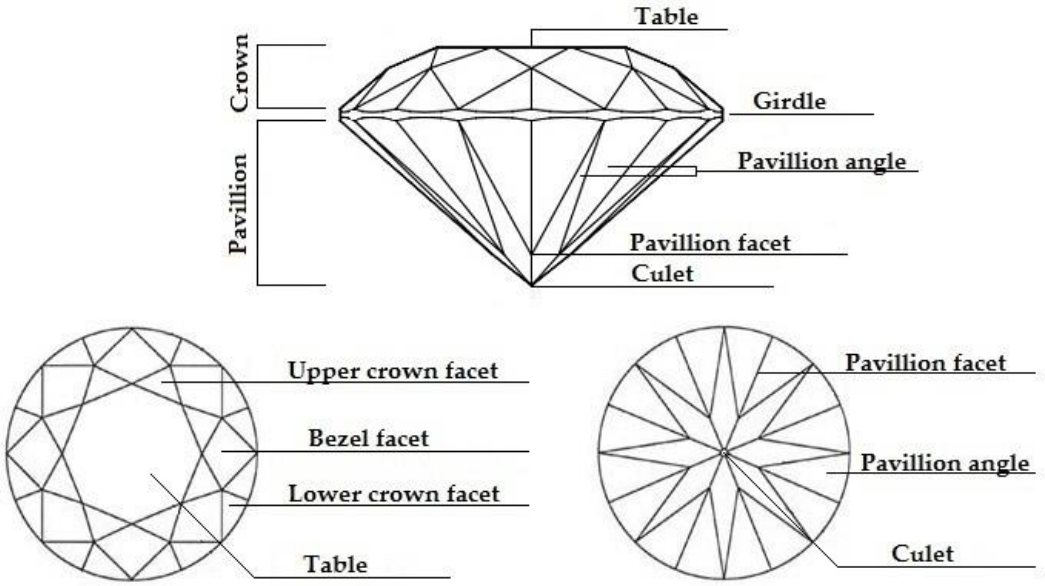


Fig. 1. Classic cut

«The star of David»

However, most stone cuts look simply banal. Therefore, having thought about the original look, I bring to your attention a cut based on the well-known Star of David.

This prototype became the basis, due to the associations that, mainly, men give jewelry with stones (and not only) to their lovely ladies. Therefore, based

on one of the theories of interpretation of this symbol (Fig. 4), I came up with the idea of a similar type of stone, which, for sure, more than one girl will like and can become an excellent decoration for any piece of jewelry.

The 3D model (Fig. 5-6) was made in the КОМПАС-3D program in order to convey the appearance of the cut from different sides, as well as to be able to view the stone from your favorite angle.

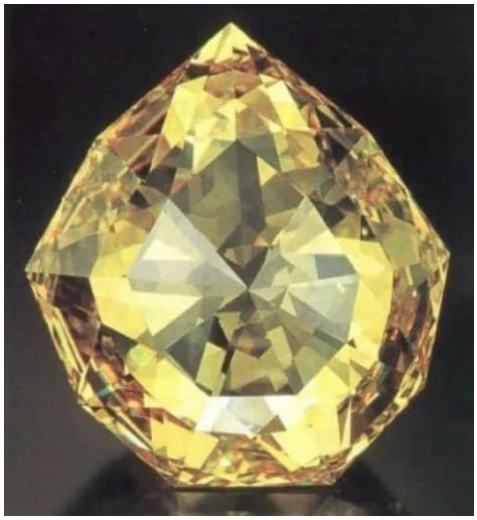


Fig. 2. Sancy

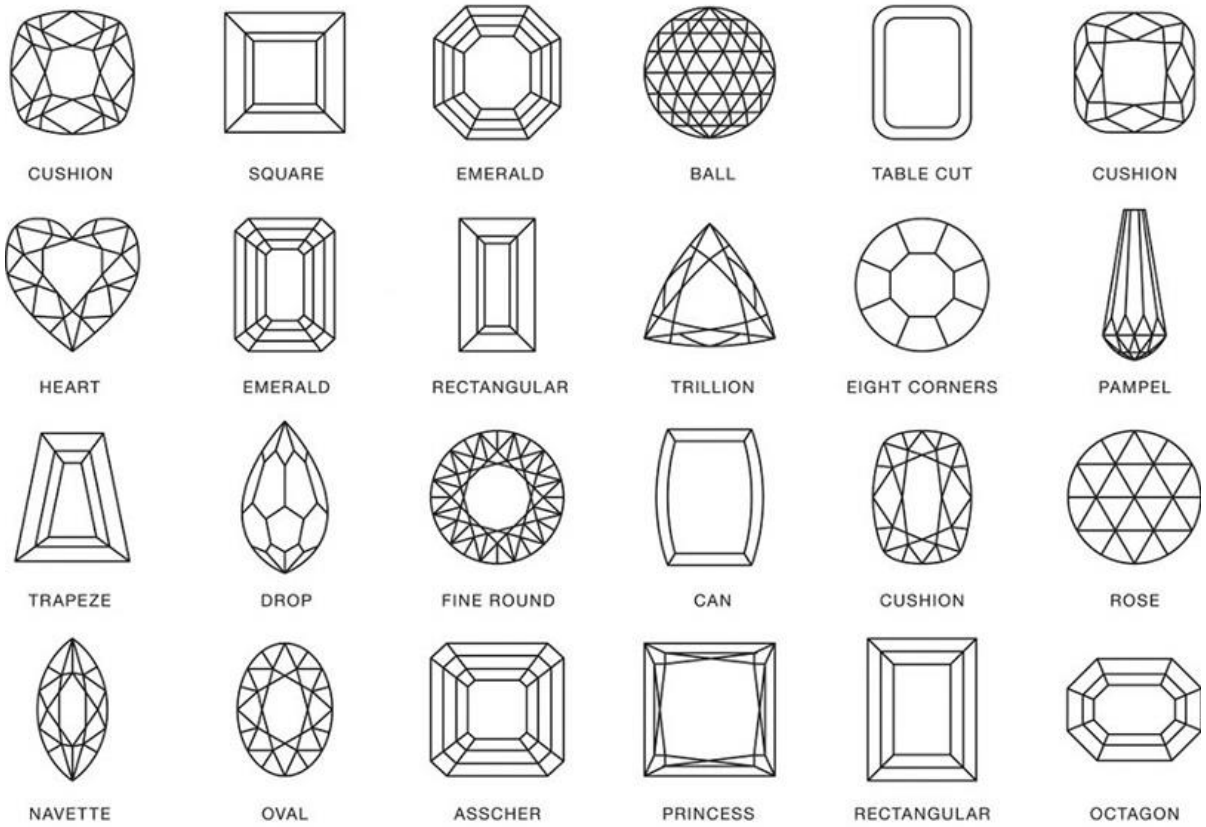


Fig. 3. Popular types of cuts



Fig. 4. The star of David

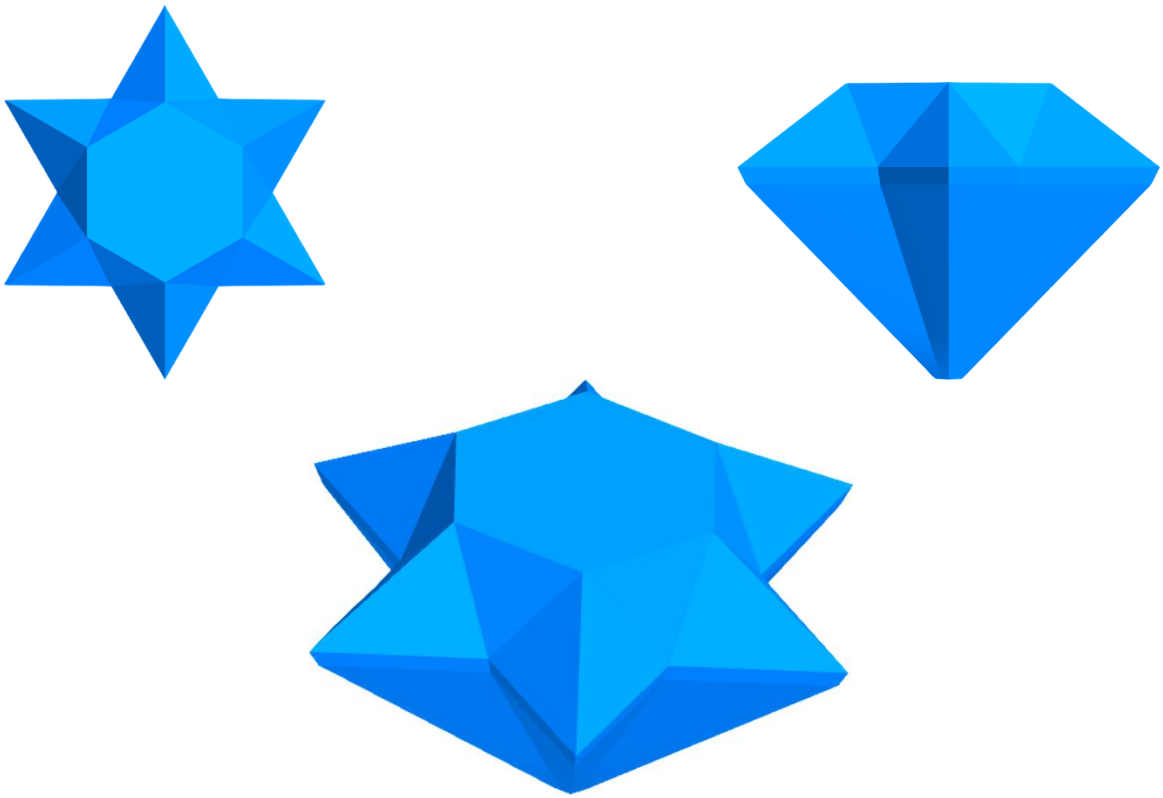


Fig. 5. Top, side and isometric view

References

1. Cut (gems) // Wikipedia. 2023. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Cut_(gems) (дата обращения: 10.09.2023).

2. Компьютерное проектирование // eКурсы. 2023. URL: https://e.sfu-kras.ru/course/view.php?id=2323 (дата обращения: 10.09.2023).

UDC 621.31

RESEARCH OF TRANSFORMATION PROCESSES REACTIVE POWER TO ACTIVE POWER

D. K. Siluyanov[1]
Scientific supervisor – G. A. Pilyugin[2], senior lecturer
Language Supervisor – V. M. Antolinovskaya[3], senior lecture

[1, 2, 3]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[1]siluyanov-04@mail.ru

Energy consumption is growing every year in the world. This was especially true against the backdrop of the global pandemic in 2020, when global energy consumption increased by 5%. According to various forecasts, growth is expected to reach 3.3% in 2024, and the hydrocarbon reserves will last approximately for the next 100 years. Also, over the past 2022, a study of the global car market showed an increase in sales of electric vehicles by 55%. This raises the question of reducing global energy consumption or creating new ways to reuse electricity. All consumers pay for active power, which is used to perform useful work: the operation of furnaces, engines, etc. But it is important to remember that along with active power, we also receive reactive power, which is necessary in order to transfer active power to the consumer. Under Russian law, the consumer does not pay for reactive power. Then the question may arise whether this "Free" power can be made to work in our interests.

Power engineers, in order not to drive reactive power through the networks back and forth, came up with the idea of generating reactive power in the place of its direct consumption. That is, to put various reactive elements in the network: capacitors, coils, etc. Let's look at the proposed scheme:

This circuit consists of an AC voltage source *U*, two switches S1 and *S2*, a capacitor *C*, and a resistor *R*. At the initial moment of time, we close the key S1, and we form the first circuit, where we begin to charge the capacitor. Then, after a certain period of time, we open the key S1, and close the key *S2*. And we are starting the second circuit, which will store reactive power, which is not taken into account by the electricity meter. In the second circuit, we begin to release the energy stored in the capacitor. It begins to transform from reactive energy to active energy. We can determine this by generating heat across the resistor.

What is the essence of this transformation? This diagram shows us that you can try to convert reactive power from the network to active power. But it is also important to remember that in this scheme we used elements that can work

© Siluyanov D. K., 2024

with reactive power. In the future, this scheme can and should be improved to achieve better results.

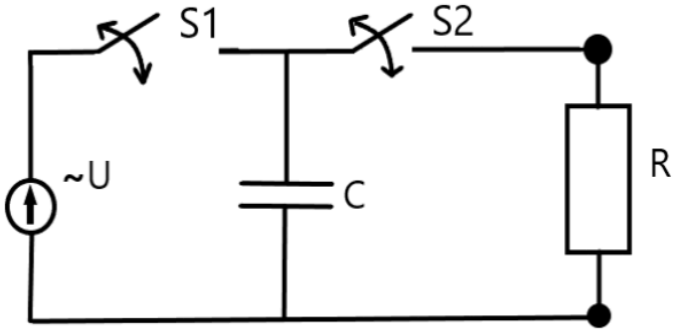


Fig. 1. Reactive power conversion scheme

In the world practice, the issue of converting reactive power into active power is poorly understood. There are mostly questions about reactive power compensation and the creation of installations based on this. In this regard, the question of studying this topic and creating an end device is very acute. After all, then this device and the conversion process can give a strong impetus to the development of the electric power industry and other branches of science.

But at the same time, there is a reasonable question about why this issue is poorly studied. There may be several reasons for this:

1. Lack of sound theory, resulting in a lack of practice and technical solutions.

2. Lack of scientific developments on this topic.

3. Putting in textbooks and students of electric power specialties the idea that reactive power cannot be used.

And this is one of several reasons why there is no particular development of this topic in the electric power industry today. Then there is a need to develop this topic.

Stages of working on the topic:

1. Investigate the processes of converting reactive power into active power.

2. Develop schematic solutions.

3. Develop an algorithm for the transformation management system.

4. Develop a device based on points 2 and 3.

In conclusion, I would like to note that the research and development of a device for converting reactive power into active power can help us solve the following problems:

1. Reducing the level of energy consumption and its costs.

2. The possibility of switching private sector homes to electric heating, as well as reducing harmful emissions entering the atmosphere, which is very important for our city and region.

3. Reducing the load from energy systems.

4. Possible full transition to electric transport, which will require new power supply schemes and a large amount of electricity.

5. Providing industrial facilities with the necessary amount of electricity and optimizing them.

References

1. What is active and reactive power, 2019 [Electronic resource]. URL: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_ru.pdf[accessed 06.09.2023].

2. How-reactive-power-is-helpful-to-maintain-a-system-healthy, 2011 [Electronic resource]. URL: https://electrical-engineering-portal.com/how-reactive-power-is-helpful-to-maintain-a-system-healthy#Voltage%20must%20be%20maintained%20within%20Acceptable%20Levels [accessed 07.09.2023].

3. Practical use of reactive power, 2014 [Electronic resource]. URL: http://sadeyna.ru/article/prakticheskoe-ispolzovanie-reaktivnoj-ehnergii/ [accessed 09.09.2023].

4 Global demand for electricity in 2024 will grow by 3.3%, 2023 [Electronic resource]. URL: https://gmk.center/news/globalnyj-spros-na-elektroenergiju-v-2024-godu-vyrastet-na-3-3://gmk.center/news/globalnyj-spros-na-elektro energiju-v-2024-godu-vyrastet-na/ [accessed 10.09.23]

5. Global sales of electric vehicles in 2022 increased by 55% to 10.5 million rubles, 2023 [Electronic resource]. URL:https://dzen.ru/a/ZCH5fMXqY3sjw4QC[accessed 10.09.23]

UDC 621.31

PRODUCTION AND TRANSPORTATION OF THERMAL AND ELECTRICAL ENERGY OF BEREZOVSKAYA SDPP

P. V. Velmiskin[1]
Language supervisor – I. V. Alekseyenko[2], senior lecturer

[1, 2]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[1]velmiskin_pavel@mail.ru

This report observes the topic of the operation of Berezovskaya SDPP (State District Power Plant). In the modern world, electricity generation is mostly carried out with the help of electrical equipment. Despite the growing interest in alternative energy sources, it is worth saying that the principle of operation of Berezovskaya SDPP is traditional, since it operates on brown coal from the Berezovsky deposit and is the most powerful global power plant in the Krasnoyarsk Territory, whose capacity is designed for the primary power supply of a specific energy area.

It should be clarified that the electrical circuit of the station is designed according to the block principle. Generator block – transformer block – 500,000-volt line. Generators installed at Berezovskaya SDPP belong to synchronous non-pole machines and are designed to generate electrical energy in continuous operation and are driven by steam turbines. The turbo generator is a synchronous three-phase non-pole machine and structurally consists of several main parts: stator and shields, rotor; terminals of a box with current transformers, 4 vertical coolers in the stator housing, support and sealing bearings and a brush-contact device.

It should be explained here that generators of three power unitsat the output produce electricity with a voltage of 24,000 volts on step-up transformers (a total of 3 pieces are installed), as well as for good transformers TRDNS-63000/35 U1 with alternating voltage are needed for quality transformers (a total of 4 pieces of step-down transformer are installed).

Also, from the transformers of the fuel and energy center from the high voltage side, electricity is provided by the ultra-high voltage substation "Itatskaya" along the 500,000-volt line.

Summarizing everything that has been said above, power plants produce generated electricity. With the further use of electricity, there is an increase in voltage due to losses in the transmission of electricity). For this purpose, power

© Velmiskin P. V., 2024

substations are being created for the distribution of transported electricity, which reduce the voltage so that consumers can receive and use electricity.

The electric capacity of the station is 2,410 MW according to established data in 2023. According to economic and industrial calculations, alternative energy sources will never reach such indicators under the conditions of the local climate of the Krasnoyarsk Territory. It should be noted that this is not possible for the following reasons:

- creating a dam requires a mountainous terrain, which is not present in this area, but there is fertile soil that may be at risk of destruction;
- the creation of wind turbines requires a flat terrain, since wind is needed for 18 hours a day, but the terrain of this district is more of a foothill where there are no winds on a permanent basis;
- the creation of solar panels requires 18 hours of sun per day, in this region the daylight can often last 5-6 hours.

Based on the example of assessing the possibility of installing alternative sources relative to the geographical conditions of a given area, we realized that the method of generating electricity that is used in these conditions is optimal.

In conclusion, it is worth adding that the power plant we are talking about uses special modern cleaning technologies to reduce harmful emissions into the atmosphere, such as electric filters that create an electric field on a tubular grid, which magnetizes the ash due to a voltage of 0.4 kV, after which the magnetized ash is showered into the hopper with the help of shakers and does not enter the atmosphere, the set temperature inside the boiler ensures maximum combustion of volatile substances.

References

1. Vakhnina V. V., Chernenko A. N.Power supply systems [Electronic resource]: electron. study method. allowance / TSU; Institute of Energy and Electrical Engineering; cafe "Power supply and electrical engineering". Tolyatti: TSU, 2015. 46 p. : ill. Bibliography: p. 35. App.: p. 36-46. ISBN 978-5-8259-0915-8.

2. Opoleva G. N. Power supply of industrial enterprises and cities [Electronic resource]: textbook. allowance. Moscow: Forum: INFRA-M, 2018. 416 p. ISBN 978-5-8199-0769-6.

3. Poluyanovich N. K. Installation, adjustment, operation and repair of power supply systems of industrial enterprises [Electronic resource]: textbook. allowance / N. K. Poluyanovich. Ed. 5th, sr. St. Petersburg: Lan, 2019. 396 p. : ill. (Textbooks for universities. Specialliterature). ISBN 978-5-8114-1201-3.

Секция 5

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

УДК 378.4

ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ ПОДГОТОВКИ НА ДИСЦИПЛИНАХ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ЦИКЛА

О. В. Баяндина

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
obayandina@sfu-kras.ru

Современная инженерная деятельность предполагает проектное выполнение, что требует от инженера наличия развитых универсальных компетенций, к примеру таких, как работа в команде, лидерство, способность к продуктивной коммуникации и др., а также субъектной позиции инженера. Подготовка к такой деятельности осуществляется с помощью инженерного образования, в котором фиксируется кризис [1]. Таким образом, можно зафиксировать необходимость поддержки актуального состояния универсальных компетенций у выпускника технического направления подготовки к началу профессиональной деятельности как задачу для образовательной программы.

Анализ архитектуры учебных планов технических направлений подготовки позволяет отметить, что формирование универсальных компетенций предусмотрено на базовых дисциплинах, которые завершаются на втором курсе, при дальнейшей реализации учебного плана начинается цикл профессиональных дисциплин, предполагающих образовательные результаты в виде профессиональных компетенций, при этом в государственную итоговую аттестацию включены как универсальные, так и профессиональные компетенции [2]. Это позволяет говорить о неявном использовании универсальных компетенций, что, соответственно, ставит задачу перед образовательной программой – поддержка универсальных компетенций на дисциплинах профессионального цикла. В сущности, развитие универсальных компетенций происходит в интеграции с развитием профессиональных компетенций на старших курсах в дисциплинах профессионального цикла.

© Баяндина О. В., 2024

Рассматривая инженерное образование как педагогическую систему [3], можно выделить несколько организационно-педагогических условий, реализация которых позволит решить обозначенную выше задачу.

Обратимся к содержанию дисциплин профессионального цикла, которое, по мнению исследователей, опирается на цели, ценности и личную продуктивную деятельность студента [4, 5], а проектирование такого содержания предполагает обогащение квазипрофессиональными и контекстными задачами [6], опору на субъективный ментальный опыт студента [7], рациональное сочетание продуктивной и репродуктивной деятельности с практической ориентацией, возможностью конструирования студентом образовательных продуктов, ситуации выбора студента в содержании, что в совокупности составляет личностный компонент содержания, несмотря на это, традиционно содержание образования представлено в виде дидактических единиц, что расходится с позицией ученых относительно содержания образования.

Непрерывная инженерная деятельность студентов технических направлений подготовки, соотнесенная с результатами обучения, позволяет устранить дефициты при трансформации когнитивного содержания в личностно значимое и выполняет функцию интеграции и развития всех групп компетенций, предусмотренных ФГОС. Такая деятельность предполагает иную организацию пространства для ее осуществления и не соотносится с рамками расписания и требует включения в образовательный процесс проектной технологии. Наиболее успешные в мировой и российской практике инженерные образовательные программы объединяет концепт использования проектов как педагогического инструмента достижения образовательного результата [8]. В отличие от типовых курсовых проектов, инженерные проекты выполняются непрерывно на протяжении всего периода обучения, с последующим увеличением сложности, решают реальные производственные задачи, решают проблемы социума, в т. ч. связанные с устойчивым развитием.

Непрерывность проектной деятельности задает необходимость системных изменений в организации учебного процесса, в частности инфраструктурного обеспечения и деятельности преподавателей.

В свою очередь, организация непрерывной проектной деятельности вызывает необходимость в ее обеспечении материальными ресурсами и пространством для выполнения. Организация такого пространства существенно отличается от сложившегося подхода образовательных организаций и предполагает «свободное» расписание, которое определяется самостоятельно студентом в зависимости от его потребности в деятельности, значение активного рабочего пространства в учебном процессе подчеркивается двумя стандартами CDIO из 12 [9].

Анализ опыта ведущих инженерных образовательных программ и опыт реализации международного подхода CDIO в Сибирском феде-

ральном университете позволил выделить элементы, придающие активность проектному пространству и структурно представленные на рис. 1.



Рис. 1. Элементы активности проектного пространства

Включение в образовательный процесс проектных технологий, трансформация содержания, функционирование в проектном пространстве требует от преподавательского состава, реализующего дисциплины профессионального цикла, наличия определенных характеристик на основе обобщения позиций образовательных сообществ и организаций с учетом современного контекста [10]. К примеру, включение в образовательный процесс обратной связи от студентов и реагирование на ее результаты, перевод квалификационного запроса рынка труда в образовательный результат; проектирование дисциплины исходя из образовательного результата и регулярная актуализация, реализация педагогических технологий с обеспечением образовательного результата. Приведенные позиции вызывают необходимость в непрерывном развитии профессионально-педагогических компетенций и адаптивности к VUCA-миру преподавателей дисциплин профессионального цикла технических направлений подготовки. Стоит отметить, что развитие универсальных компетенций у студентов невозможно без наличия развитых и активно используемых универсальных компетенций преподавателя на его дисциплинах.

Функционирование образовательной программы, включающей инженерные проекты, ставит новые задачи перед преподавателями – создание базы проектов, позволяющих получить образовательный результат при оптимальных затратах.

Таким образом, системная реализация организационно-педагогических условий (личностно значимое содержание дисциплин профессиональ-

ного цикла; развитие педагогических компетенций преподавателей дисциплин профессионального цикла; включение непрерывной проектной деятельности студентов в образовательный процесс; реализация проектных технологий в дисциплинах профессионального цикла; обеспечение активности учебного пространства) влияет на результативное развитие универсальных компетенций обучающихся технических направлений подготовки на дисциплинах профессионального цикла.

Список источников

1. Володько К. А., Осипова С. И. Мониторинг реализации инженерного образования в идеологии всемирной инициативы CDIO // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 1090. EDN VIESXZ.
2. Гафурова Н. В., Баяндина О. В. Личностно значимое содержание дисциплин профессионального цикла технических направлений подготовки // Общество. 2022. № 1-2(24). С. 7–10. EDN YUPXRA.
3. Хуторской А.В. Современная дидактика: учебник для вузов. М. : Юрайт, 2022. 406 с.
4. Гафурова Н. В. Интегральная модель интеллектуально-личностного развития обучающихся в системе образования : монография. М. : МАКС Пресс, 2004. 220 с.
5. Сериков В. В. Личностно-развивающее образование как одна из культурологических образовательных моделей // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. 2016. № 2(106). С. 30–35.
6. Шкерина Л. В., Кейв М. А. Поликонтекстные образовательные модули в формате требований ФГОС во и особенности их реализации // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В. П. Астафьева. 2016. № 2(36). С. 94–100.
7. Холодная М. А. Психология интеллекта: Парадоксы исследования. 2-е издание, переработанное и дополненное. Санкт-Петербург : Питер, 2002. 272 с.
8. TU Delft Dream Hall / Technische Universiteit Delft. [Электронный ресурс]. URL: https://www.tudelft.nl/ddream (дата обращения: 09.09.2023).
9. Всемирная инициатива CDIO. Стандарты: информационно-методическое издание / Пер. с англ. и ред. А. И. Чучалина, Т. С. Петровской, Е. С. Кулюкиной; Томский политехнический университет. Томск : Изд-во ТПУ, 2011. 17 с.
10. Общая психология : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Профессиональное обучение» / Н. С. Глуханюк, А. А. Печеркина, С. Л. Семенова ; Н. С. Глуханюк, А. А. Печеркина, С. Л. Семенова. М. : Академия, 2009.

УДК 378.147

ЗНАЧИМОСТЬ ПРЕЗЕНТАЦИОННОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Д. И. Гадалов[1], С. И. Осипова[2]

[1, 2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1] gadalov_demid@vk.com

Неуклонно возрастающие требования современного нестабильного, стремительного развивающегося мира заставляют учреждения профессионального образования находить наиболее оптимальные способы обеспечения актуальных образовательных результатов, которые станут отвечать запросам работодателя и общества. В этих условиях студенты должны непрерывно участвовать в деятельности по формированию различных компетентностей, необходимых для учебной и профессиональной деятельности, а также в личностной сфере.

Компетенция рассматривается в педагогике как совокупность взаимосвязанных свойств личности (знаний, умений, навыков, способов деятельности), которые применяются к внешним явлениям и необходимы для того, чтобы действовать наиболее результативно. Компетентность определяется владением, обладанием человеком соответствующей компетенцией, включающей личностное отношение индивида к ней и предмету деятельности [1]. Компетентности развиваются в процессе обучения на дисциплинах и модулях, предусмотренных учебным планом. Классификация компетенций предполагает несколько оснований разделения [17] (табл. 1).

Совокупность профессиональных и универсальных компетентностей сегодня определяет карьеру индивида [3]. Таким образом, комплексный портфель компетенций специалиста можно охарактеризовать как единство узких специальных навыков и личностных особенностей человека. Мировая тенденция непрерывного образования и развития специальных профессиональных качеств (hard-skills) наравне с личностными (soft-skills) в российском профессиональном образовании отражена во ФГОС ВО 3++, определяющем формирование у студентов всех направлений как предметных (ОПК, ПК), так и универсальных компетентностей (УК) [4]. Отдельное внимание стоит уделять сегодня обучению студентов разделять виды формируемых компетенций, ведь, как показывают опросы, 93 % учащихся не имеют представления о самом понятии универсальных навыков [16].

© Гадалов Д. И., Осипова С. И., 2024

Таблица 1

Классификация компетенций

Основание классификации	Компетенции
Используется для всех сфер деятельности, надпрофессиональность	Ключевые, soft skills, универсальные (УК)
Направленность на определенный вид деятельности	Социальная, математическая, коммуникативная и т. д.
Ориентация на виды профессиональной деятельности	Hard skills, общепрофессиональные (ОПК) и профессиональные (ПК) по направлениям подготовки
Управление знаниями, своими интеллектуальными и рефлексивными процессами	Метакомпетентность как способность субъекта осуществлять самоанализ, самооценку, самоконтроль интеллектуальной деятельности

Развитие универсальных компетенций в условиях неопределенности VUCA-мира, когда личностные особенности определяют антихрупкость индивида – его способность противостоять непрерывным изменениям и применять их с пользой, становится необходимостью для специалиста [6]. Роль soft skills подчёркивается сегодня на самом высоком уровне: на выступлении в рамках XIX Всемирного фестиваля молодежи и студентов президент России В. В. Путин отметил, что конкурентные преимущества в будущем получат те, кто овладел универсальными компетентностями [7].

Современное инженерное образование также отводит большую роль надпрофессиональным компетенциям. Так, согласно Стандарту 2 инициативы CDIO, для осуществления комплексной инженерной деятельности учащимся необходимо достигать профессиональных (технических), личностных (когнитивный и эмоциональный компонент) и межличностных (лидерство, командная работа, коммуникация) результатов. Согласно Стандарту 3 в учебном плане должны быть интегрированы дисциплины, направленные на развитие технических умений, а также личностных и межличностных свойств студента [5]. Достижение личностных и межличностных результатов в CDIO можно соотнести с развитием универсальных компетентностей во ФГОС ВО.

Компании всего мира нуждаются в выпускниках с развитыми не только узкопрофессиональными, но и универсальными навыками. В исследовании, проведённом в 2020 г. Национальной ассоциацией колледжей и работодателей США, были определены восемь ключевых компетенций, уровень развития которых показывает готовность выпускника начать карьеру: построение собственной карьерной траектории и саморазвитие, публичная коммуникация, критическое мышление, равенство и инклюзивность, лидерство, профессионализм, командная работа, цифровая грамотность [8]. Однако, по наблюдениям работодателей, выпускники нечасто демонстрируют удовлетворительный уровень универсальных компетенций.

В портфеле универсальных навыков специалиста важное место сегодня занимает презентационная компетентность [9]. Она определяется как способность результативно представлять себя, свои идеи, а также достижения личной и коллективной профессиональной деятельности с вовлечением всех сенсорных возможностей аудитории. Для целостного понимания структуры и сущности презентационной компетентности приведём составляющие её компоненты:

– мотивационный – осознание выступающим значимости публичного взаимодействия, своего желания и возможностей к инициированию презентации;

– когнитивный – владение знанием о теории и практике результативной презентации;

– операционно-деятельностный – соблюдение структуры презентации, владение материалом, использование риторических приемов, техник невербального воздействия, применение междисциплинарных навыков;

– рефлексивно-оценочный – способность адекватно оценить своё выступление и стороннюю презентацию, провести рефлексию по прошедшему публичному взаимодействию;

– личностный – индивидуальные качества выступающего, содействующие влиянию на аудиторию (харизма, лидерство, личные заслуги, публичный имидж).

К критериям результативности публичной презентации относится:

– позитивное восприятие выступающего аудиторией;

– побуждение слушателей к полезным для выступающего действиям;

– одобрение в профессиональном сообществе и повышение авторитета;

– получение наград и ресурсов, необходимых в дальнейшей деятельности презентующего.

Презентационная компетентность включает в себя взаимодействие с аудиторией, а значит обязательно предполагает коммуникацию и связана с коммуникативной группой компетенций, которые выделяются Советом Европы как ключевые: «Люди должны обладать навыками устного и письменного общения в различных ситуациях, а также контролировать и адаптировать свое общение к требованиям ситуации» [11]. Понятие ключевой компетенции включает совокупность широко применяемых, многофункциональных знаний, умений и навыков, которые необходимы каждому индивиду для самореализации, социальной активности и занятости. Такая характеристика соответствует возможностям применения презентационной компетентности.

Исследователи отмечают, что уникальность публичной презентации заключается в том, что выступающий в акте инициирования демонстрирует как личные (эмпатия, собранность, риторические техники), так и профессиональные (использование специального вокабуляра, знание предметной области, демонстрация разработок) качества [10]. Российские и зарубежные ученые с начала 2010-х гг. относят презентационную компетент-

ность к неотъемлемым, общепризнанным и при том сложно формируемым навыкам профессионала [8, 12, 15].

Необходимость развития способности к публичной презентации у студентов-инженеров находит своё отражение в планируемых результатах обучения по стандартам CDIO в Syllabus 3.0. Обратившись к разделу 3 «Межперсональные навыки: сотрудничество, командная работа и коммуникация», можно отметить пункты 3.2.1 «Коммуникационная стратегия», 3.2.2 «Структура коммуникации», 3.2.6 «Устная презентация», 3.2.7 «Опрос, выслушивание и диалог», 3.2.9 «Защита своей точки зрения», актуализирующие презентационную компетентность в инженерном обучении [13]. Инженерное образование сегодня ставит перед студентом задачу овладеть навыком публичного представления, включая: умение грамотно структурировать доклад, использовать вербальные и невербальные техники представления, а также принимать во внимание особенности аудитории [15].

Таким образом, можно сформулировать гипотезу о том, что формирование презентационной компетентности студентов-инженеров станет значимо обогащать их личностные качества, необходимые для успешной учебной и профессиональной деятельности. Развитие презентационной компетентности в рамках повышения качества подготовки инженеров предполагает создание курсов и модулей, на которых развитие соответствующей компетентности станет наиболее результативным. Известно, что рефлексия, полученная от квалифицированного педагога, обладающего знанием о формировании презентационных навыков, приносит наибольшую пользу обучающимся [14], поэтому также следует отнестись к подготовке преподавателей-кураторов по формированию презентационной компетентности студентов-инженеров, обеспечивающих деятельностное развитие навыка публичной презентации, корректировку индивидуальной траектории оформления компетентности студента.

Уровень развития надпрофессиональных (универсальных, ключевых) компетентностей определяет всестороннее развитие индивида. Универсальные навыки являются важнейшей составляющей портфеля компетенций современного студента-инженера, а определяемая в работе универсальная презентационная компетентность, близкая по своей сущности к ключевым навыкам специалиста, станет обогащать личностные характеристики обучающегося, что в дальнейшем будет влиять на успешность в учебной, профессиональной и личностной сфере. Учитывая высокую значимость рассматриваемой компетентности, учреждениям высшего профессионального образования следует рассмотреть возможности разработки курсов и модулей, направленных на формирование презентационной компетентности, а также принять во внимание важность подготовки преподавателей, имеющих все необходимые качества для сопровождения развития компетентности. Обеспечение условий формирования презентационной компетентности у студентов инженерных направлений будет соответствовать предлагаемым результатам мирового

инженерного обучения инициативы CDIO и станет способствовать целостному процессу становления будущего инженера.

Список источников

1. Хуторской А. В. Современная дидактика : учебник для вузов. М. : Юрайт, 2021. 406 с.

2. Бухарова Г. Д., Старикова Л. Д. Компетентность и компетенции – фундаментальные понятия компетентностного подхода // Понятийный аппарат педагогики и образования. Екатеринбург : Уральский государственный педагогический университет, 2012. С. 87–95.

3. Новикова Э. Ю. Компетентностный профиль переводчика эпохи 4.0: презентационная компетенция // Вестник Томского государственного университета. 2021. № 466. С. 165–172.

4. ФГОС ВО (3++) по направлениям бакалавриата : Портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования : сайт. URL: https://fgosvo.ru/fgosvo/index/24 (дата обращения: 10.10.2023).

5. Перспективы развития инженерного образования: инициатива CDIO : [Публикация основана на материалах и стандартах Всемирной инициативы CDIO] / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» ; пер. с анг. и ред. В. М. Кутузова и С. О. Шапошникова. СПб : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. 29 с.

6. Обухова Н. И. VUCA-мир и образовательная среда // Калининградский вестник образования. 2021. № 3. С. 11–22.

7. Владимир Путин принял участие в сессии «Молодёжь 2030. Образ будущего», прошедшей в рамках XIX Всемирного фестиваля молодёжи и студентов : Сайт Президента России : сайт. URL: http://www.kremlin.ru/events/president/news/55890 (дата обращения: 10.10.2023).

8. Competencies for a Career-Ready Workforce : National Association of Colleges and Employers : site. 2021. URL: https://www.naceweb.org/uploadedFiles/files/2021/resources/nace-career-readiness-competencies-revised-apr-2021.pdf (date of treatment: 10.10.2023).

9. Полетаева Н. М., Борисова Е. А. Презентационная компетентность в структуре профессиональной деятельности специалиста // Образование взрослых и подготовка специалиста. 2018. № 1. С. 92–96.

10. Кулинич Е. В. Специфика самопрезентации как коммуникативного явления // Вестник Томского государственного университета. 2007. № 299. С. 7–10.

11. Азизов А. А., Азизов Ш. Ю. Компетентностный подход в образовании // Ученые записки Худжандского государственного университета им. академика Б. Гафурова. Гуманитарные науки. 2018. № 3. С. 164–168.

12. Chan V. Teaching oral communication in undergraduate science: Are we doing enough and doing it right? // Journal of Learning Design. 2011. N 4. Pp. 71–79.

13. The CDIO Syllabus 3.0 - An Updated Statement of Goals : Chalmers research forskningsinformation : site : [Proceedings of the 18th International CDIO Conference]. 2022. URL: https://research.chalmers.se/publication/534193/file/534193_Fulltext.pdf (date of treatment: 10.10.2023).

14. Fostering oral presentation performance: Does the quality of feedback differ when provided by the teacher, peers or peers guided by tutor? / S. Van Ginkel, J. Gulikers, H. Biemans, M. Mulder // Assessment and Evaluation in Higher Education. 2016. N 42. Pp. 1–14. DOI 10.1080/02602938.2016.1212984.

15. Pathak A., M. Le Vasan Developing oral presentation competence in professional contexts: a design-based collaborative approach // International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE). 2015. Vol. 4, No. 4. Pp. 179–184.

16. Чуланова О. Л., Богдан Е. С. Формирование мягких навыков студентов в процессе интеграции в CDIO : [Материалы 2-й Международной научной конференции GCPMED 2019 – Глобальные вызовы и перспективы современного экономического развития, 7–8 ноября 2019, Самарский государственный экономический университет, Россия] // Global Challenges and Prospects of the Modern Economic Development. Великобритания : European Publisher, 2020. С. 526–533.

17. Шершнева В. А., Осипов М. В. Метакомпетентность в иерархии компетентностей // Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. В. П. Астафьева. 2020. № 1. С. 80–89.

Научное издание

БОРИСОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции
с международным участием

25–26 октября 2023 г.

Корректор *З. В. Малькова*
Компьютерная верстка *И. В. Гревцовой*

Подписано в печать 14.03.2024. Печать плоская. Формат 60×84/8.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 28,25. Тираж 100 экз. Заказ № 20858

Библиотечно-издательский комплекс Сибирского федерального университета
660041, Красноярск, пр. Свободный, 82а. Тел. (391) 206-26-16; http://bik.sfu-kras.ru
E-mail: publishing_house@sfu-kras.ru