



НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МОЛОДЕЖИ И ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС

Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции

Санкт-Петербург, 14 мая 2026 г.

УДК 082 : 001.8
ББК 94.3
НЗ4

ISSN 2618-7493

Научный потенциал молодежи и технический прогресс: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2026. – 51 с. – DOI: 10.26160/2618-7493-2026-9.

Оргкомитет:

Балакина Екатерина Викторовна – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград;

Жуков Иван Алексеевич – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург;

Кугаевский Сергей Семенович – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Технологии машиностроения, станки и инструменты», Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург;

Плотников Сергей Михайлович – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Системы обеспечения движения», Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск;

Солодовников Александр Юрьевич – д.г.н., доцент, начальник научно-исследовательского отдела Экологии, Тюменское отделение «СургутНИПИнефть», г. Тюмень;

Тараховский Алексей Юрьевич – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Цифровое проектирование», Севастопольский государственный университет, г. Севастополь;

Шигин Андрей Олегович – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Горные машины и комплексы», Сибирский федеральный университет, г. Красноярск;

Якубович Ефим Абрамович – к.т.н., доцент, профессор кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы», Самарский государственный технический университет, г. Самара.

Формат издания 60х84/8. Усл. печ. л. 2,96.

Подписан в печать 14.05.2026г. Заказ №26-10.

<https://doi.org/10.26160/2618-7493-2026-9>

Учредитель, издатель и распространитель: Жукова Елена Валерьевна
(ИП Жукова Е.В., ИНН 422802805198, ОГРНИП 318420500009778, г. Санкт-Петербург).

Ответственный редактор: Жуков Иван Алексеевич.

Редакция: Научно-исследовательский центр «МашиноСтроение»,
197372, г. Санкт-Петербург, пр. Комендантский, д. 28, корп. 2, оф. 117.
<http://srcms.ru/> Е-mail: spbf@srcms.ru

**Научно-исследовательский центр «МашиноСтроение»
(НИЦ МС)**

представляет сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции

«НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МОЛОДЕЖИ И ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС»

ISSN 2618-7493

К публикации принимаются доклады, тезисы, обзоры и краткие сообщения по результатам учебных и научных работ студентов, аспирантов, молодых ученых, их коллег и руководителей. Сборник трудов размещается в полнотекстовом режиме на сайте Научной электронной библиотеки: <http://elibrary.ru>. Все материалы проходят проверку на антиплагиат и «слепое» рецензирование.

Секции конференции:

1. Архитектура, техника и технологии строительства.
2. Компьютерные и информационные науки, информатика и вычислительная техника.
3. Математика и механика.
4. Машиностроение.
5. Наземные транспортно-технологические средства и комплексы.
6. Науки о Земле, прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия.
7. Приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии.
8. Техника и технологии сельского хозяйства.
9. Технологии материалов, нанотехнологии и материалы.
10. Техносферная безопасность и природообустройство.
11. Управление в технических системах.
12. Физико-технические науки и технологии.
13. Химия и химические технологии
14. Электро- и теплоэнергетика.

Требования к оформлению:

Материалы необходимо подготовить с применением редактора MS Word (doc, docx). Минимальный объем: 3 страницы. Формат страницы: A4. Ориентация: книжная. Поля: со всех сторон – 2,5 см. Шрифт: Times New Roman. Кегль: размер основного кегля – 14, абзац – 1,25 см, межстрочный интервал – одинарный. Расстановка переносов не допускается. В текст статьи включаются ключевые слова и аннотация (размер шрифта 12). Формулы: набираются с использованием встроенного редактора формул со стандартными размерами по умолчанию: основной – 12, крупный индекс – 7, мелкий индекс – 5, крупный символ – 18, мелкий символ – 12. Максимальный размер рисунка по ширине – 11 см. Список литературы должен содержать минимум 3 источника. В конце приводятся сведения об авторах.

Для рассмотрения вопроса опубликования необходимо отправить в адрес редакции по электронной почте текст доклада (на русском языке) и заявку на участие в конференции.

Подробнее об издании на сайте: <http://srcms.ru/npmitp.html>

СОДЕРЖАНИЕ

Компьютерные и информационные науки, информатика и вычислительная техника

Ли Хайпен, Чжан Яншэн, Шэн Хаодун, Вазыхова Н.А. Цифровизация образования в Китае: анализ публичных данных	5
--	---

Машиностроение

Сиденко К.А., Бирюк В.В. Теплоподвод как источник автоколебаний в эжекторном пульсирующем воздушно-реактивном двигателе	7
Выдрин А.В., Фарукшин И.К., Ахмеров Д.А. Повышение эффективности технологии горячего безоправочного деформирования труб	10

Наземные транспортно-технологические средства и комплексы

Шабунин С.В., Денисова Л.А. Выбор автомобильных аккумуляторных батарей по критерию «Экономическая эффективность»	14
Петриев Я.А. Развертывание мобильной базовой станции	18
Петриев Я.А. Размещение мобильной базовой станции при ремонте стационарной базовой станции	21
Петриев Я.А. Размещение мобильной базовой станции при проведении массовых мероприятий	25

Науки о Земле, прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия

Титова Н.В. Критерии эффективности гидроизоляционного сооружения в выработках калийных рудников	28
Сайфуллина А.Р., Галиуллина Е.П. Разработка алгоритмов для обработки каротажных диаграмм методом вейвлет-преобразования для организации системы поддержки принятия решений	30

Приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

Сидорова А.П., Лыков Г.П., Ермолаев А.Н. Фотометрические методы измерения концентрации жидких дисперсных систем	33
Иванов А.В. О критериях качества оценщика среднего уровня энергии шума в радиоканале	36

Технологии материалов, нанотехнологии и материалы

Исакова Т.А., Петрова П.Н., Маркова М.А. Исследование триботехнических свойств полимерных композитов на основе политетрафторэтилена и углеродных наполнителей при низкой температуре	39
Гиззатуллина О.И., Орлов Г.А. Анализ видов программных пакетов для моделирования маршрутов холодной прокатки труб.....	42
Рулин С.П., Петров П.А. Исследование теплового эффекта пластической деформации при осадке алюминия марки АМц.....	45

Техносферная безопасность и природообустройство

Герасименко Н.М., Глебова Е.В., Рогозин Ю.О. Вклад индивидуальных факторов в формирование реализованных опасных событий: нейросетевой анализ.....	49
---	----

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ В КИТАЕ: АНАЛИЗ ПУБЛИЧНЫХ ДАННЫХ

Ли Хайпен, Чжан Яншэн, Шэн Хаодун, Вазыхова Н.А.

Забайкальский государственный университет, Чита

Ключевые слова: цифровизация, цифровая трансформация, образование, система образования, информатизация образования, цифровое образование.

Аннотация. В статье представлен анализ нормативно-правовых документов, определяющих тенденции цифровизации образования в Китае. Цифровая трансформация образования осуществляется за счет межведомственного взаимодействия. Основываясь на научных публикациях сделаны выводы по долгосрочным международным целям Китайской народной республики стать участником мирового рынка образовательных услуг.

DIGITALISATION OF EDUCATION IN CHINA: ANALYSIS OF PUBLIC DATA

Li Haipeng, Zhang Yansheng, Sheng Haodong, Vazykhova N.A.

Transbaikal State University, Chita

Keywords: digitalisation, digital transformation, education, education system, informatization of education, digital education.

Abstract. This article analyses the regulatory documents that determine the trend of digitalisation of education in China. The digital transformation of education is carried out through inter-institutional cooperation. According to scientific publications, conclusions are drawn on the long-term international goal of the People's Republic of China to become a participant in the global education service market.

Цифровизация стала естественным процессом развития всех систем жизнедеятельности человека, от результативности которой зависит успех всех деятельности в этой сфере. Система образования также претерпевает цифровую трансформацию. «Цифровое» образование преодолевает территориальные барьеры и государственные границы. Цифровизация образования стала одним из приоритетов государственной политики во многих странах, в том числе, и Китае.

Проведем анализ документов, связанных с цифровизацией образования, представленных в открытых источниках. Принятый в 2018 году Министерством образования Китая «План действий по информатизации образования 2.0» ознаменовал переход Китая от «применения информационных технологий» к «интеграции и инновациям». Основные положения: переход от специализированных ресурсов к открытым; переход от повышения способности учителей и учащихся применять ИТ к повышению их всесторонних информационных компетенций; создание системы «Интернет+образование» [1].

Совместный документ одиннадцати ведомств Китая, опубликованный в 2019 г., «Схема построения «Интернет+образование»», направлен на стимулирование развития новых форм образования на основе интернет-технологий. Ключевые направления: создание открытой образовательной экосистемы, интеграция онлайн и офлайн обучения (смешанное обучение), использование больших данных для персонализации обучения, обеспечение информационной безопасности [1].

Госсовет КНР в 2021 г. Утвердил «14-й пятилетний план цифровой экономики». В разделе, посвященном образованию, план ставит задачи по всестороннему развитию «умного образования», созданию национальной платформы управления образовательными ресурсами, поддержке развития онлайн-образования и расширению доступа к качественным образовательным услугам в сельских и отдаленных районах [2].

Одним из ключевых документов являются Мнения Министерства образования и девяти других ведомств об ускорении цифровизации образования. Этот документ был совместно выпущен девятью ведомствами, включая Министерство образования, и направлен на реализацию «Плана построения сильной образовательной нации (2024-2035)», рассматривая цифровое образование как ключевой прорыв, открывающий новые пути развития образования и создающий новые преимущества, тем самым всесторонне поддерживая построение сильной образовательной нации [3]. Документ, принятый в апреле 2025 года, является ключевым программным документом, определяющим стратегию цифровой трансформации образования Китая на новом этапе. Он фокусируется на трех ключевых направлениях: интеграция, интеллектуализация и

интернационализация. Документ определяет следующие ключевые задачи: совершенствование и эффективное использование государственной платформы образовательных услуг; продвижение интеграции искусственного интеллекта в реформу образования; обновление учебных планов и программ с учетом цифровой экономики; повышение цифровой грамотности учителей и учащихся; а также создание системы непрерывного образования для обучения на протяжении всей жизни.

Министерство образования Китая опубликовало целый ряд документов по цифровизации образования. Программный документ «План строительства «Образовательной цифровой карты», разработанный во исполнение «Мнений по ускорению цифровизации образования», направлен на создание системы управления образованием на основе больших данных. Основные задачи: создание моделей прогнозирования и раннего предупреждения для оптимизации распределения образовательных ресурсов; создание платформы больших данных для сопоставления спроса и предложения талантов; мониторинг развития дисциплин и университетов на основе больших данных [3].

Уведомление Министерства образования КНР о публикации «Мер по управлению стандартизацией информатизации образования», опубликованное в феврале 2025 года, направлено на создание и совершенствование системы стандартов в области информатизации образования. Он определяет принципы разработки, утверждения и внедрения стандартов, а также регулирует управление организациями по разработке стандартов, чтобы обеспечить стандартизированное и упорядоченное развитие информатизации образования [1].

Уведомление о публикации двух отраслевых стандартов для интеллектуальных образовательных платформ направлено на стандартизацию создания и применения интеллектуальных образовательных платформ и содействие высококачественному развитию цифрового образования [4].

Проведенный анализ стратегических документов по цифровизации образования в Китае показывает государственную важность данного вопроса, объединение многих ведомств в решение поставленных задач. Слаженное межведомственное взаимодействие значительно повышает результативность исполнения государственной политики.

Стоит обратить внимание, что цели Китая на пути цифровой трансформации образования не ограничиваются национальными задачами. Страна старается войти в международное образовательное пространство, что широко обсуждается в научной сфере.

Например, Лю Мэньюй, Пань Цзиньвэнь, Хуан Жунхуай в своем исследовании анализируют роль и стратегию Китая в формировании глобального управления цифровым образованием. Авторы рассматривают такие инициативы, как проведение Всемирных конференций по цифровому образованию, продвижение китайских стандартов в области цифрового образования на международной арене и экспорт китайских образовательных практик [5].

«Цифровое» образование – это уже не будущее, это настоящее. Одним из компонентов качества образования стала его цифровая доступность, которая открывает окно в международное образовательное пространство. Китай ставит перед собой глобальную цель – стать участником международного рынка образовательных услуг.

Список литературы

1. Министерства образования КНР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.moe.gov.cn/>
2. Государственный совет КНР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gov.cn/>
3. Народное правительство уезда Тяньдун, города Байсе, провинция Гуанси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gxtd.gov.cn/xxgk/fdzdgknr/zdlyxxgk/shgysy/jyly/jyzcygh/t20596897.shtml>.
4. Китайская сеть цифрового образования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ictdedu.com.cn/>
5. Лю М., Пань Ц., Хуан Ж. Стратегия Китая в глобальном управлении цифровым образованием // Китайский журнал образовательной технологии [Электронный ресурс]. – 2025. – №6. – С. 18-27. – Режим доступа: <https://www.cnki.net/>

Сведения об авторах:

Ли Хайпен – магистрант;

Чжан Яншэн – магистрант;

Шэн Хаодун – магистрант;

Вазыхова Наталья Анатольевна – к.пед.н., доцент, доцент кафедры математики и информатики.

ТЕПЛОПОДВОД КАК ИСТОЧНИК АВТОКОЛЕБАНИЙ В ЭЖЕКТОРНОМ ПУЛЬСИРУЮЩЕМ ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНОМ ДВИГАТЕЛЕ

Сиденко К.А., Бирюк В.В.

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
Самара*

Ключевые слова: пульсирующий двигатель, эжекторный, газодинамический процесс, теплоподвод, метод крупных частиц, автоколебания.

Аннотация. Работа посвящена численным исследованиям рабочего процесса бесклапанного эжекторного пульсирующего воздушно-реактивного двигателя с впускными трубами, направленными навстречу набегающему потоку воздуха. В качестве метода исследования используются численные расчеты с использованием метода крупных частиц Давыдова. Результаты исследования показывают наличие между колебательной составляющей теплоподвода и колебательной составляющей давления фазовый сдвиг по абсолютному значению менее $\pi/2$, что характеризует данный двигатель как автоколебательную систему с теплоподводом в качестве источника энергии колебаний.

HEAT SUPPLY AS A SOURCE OF SELF-OSCILLATIONS IN AN EJECTOR PULSE JET ENGINE

Sidenko K.A., Biryuk V.V.

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara

Keywords: pulse engine, ejector, gas-dynamic process, heat supply, large particle method, self-oscillations.

Abstract. This paper presents a numerical study of the operating process of a valveless ejector pulsejet engine with intake manifolds facing the oncoming airflow. The study utilizes numerical calculations using Davydov's large-particle method. The results demonstrate a phase shift between the oscillatory component of heat transfer and the oscillatory component of pressure, with an absolute value of less than $\pi/2$, characterizing this engine as a self-oscillating system with heat supply as the source of oscillatory energy.

Одним из перспективных направлений развития беспилотной авиации является разработка эжекторного пульсирующего воздушно-реактивного двигателя, имеющего простую конструкцию, обусловленную отсутствием подвижных деталей, низкокзатратного в производстве. Преимуществом данной конструкции является прогрессивная тяговая характеристика, когда с увеличением скорости набегающего потока увеличивается наполнение воздухом камеры сгорания, и, как следствие, тяга двигателя возрастает.

Проблема создания реактивных двигателей, использующих цикл с подводом тепла при постоянном объеме (цикл Гемфри), давно является объектом внимания исследователей в области двигателестроения. В цикле Гемфри при незначительном предварительном сжатии топливовоздушной смеси перед ее подачей в камеру сгорания повышается давление в процессе сгорания топлива. Однако результаты проведенных к настоящему времени экспериментальных и теоретических исследований рабочих процессов в эжекторном пульсирующем воздушно-реактивном двигателе разрознены, что затрудняет разработку критериев оценки эффективности работы эжекторного пульсирующего воздушно-реактивного двигателя. Не существует единого мнения о механизме рабочего процесса в эжекторном пульсирующем воздушно-реактивном двигателе.

В данной работе исследовались источники автоколебаний, имеющиеся в эжекторном пульсирующем воздушно-реактивном двигателе. Результаты работы могут быть использованы для построения математических моделей рабочего процесса с целью разработки наиболее оптимальных конструкций двигателей с заданными расходом и типом топлива, значением тяги, габаритными ограничениями.

Объектом исследования является бесклапанный эжекторный пульсирующий воздушно-реактивный двигатель, впускные трубы которого направлены навстречу потоку (рис. 1) [1, 2].

Данный двигатель состоит из топливопровода 1, топливного жиклера 2, первой впускной трубы 3, второй впускной трубы 4, передней стенки камеры сгорания 5, камеры сгорания 6, задней стенки камеры сгорания 7, козырька 8, змеевика 9, резонаторной трубы 10.

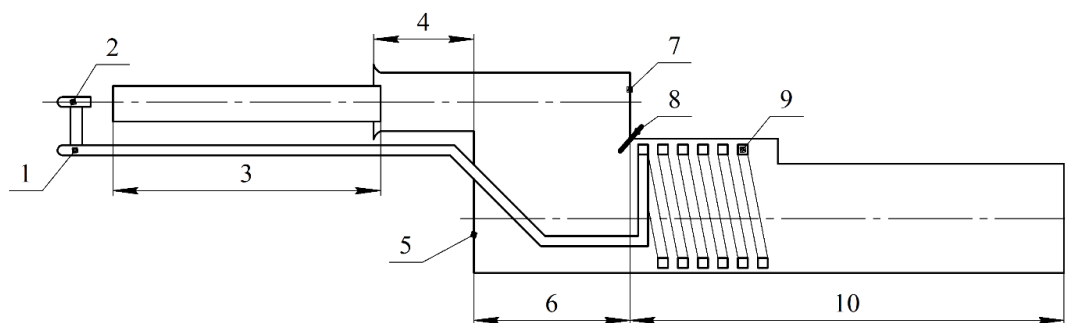


Рис. 1. Исследуемый ЭПуВРД, упрощенное изображение, продольный разрез

Рабочий процесс в данном двигателе представляет собой сложную газодинамическую систему, характеризующуюся устойчивым автоколебательным процессом. К данному двигателю применим критерий Рэлея, который обычно формулируют так: «если между колебательной составляющей теплоподвода и колебательной составляющей давления фазовый сдвиг по абсолютному значению менее $\pi/2$, в системе возбуждаются акустические колебания; если этот сдвиг заключен между $\pi/2$ и π , то акустические колебания гасятся» [3].

Для проверки этой гипотезы был проведен численный газодинамический расчет в проточной части двигателя с помощью пакета программ StartFlow. Для описания газодинамических процессов в расчете используются гипотезы об идеальном сжимаемом однокомпонентном теплопроводном газе. В этом случае движение газа описывается системой уравнений движения Эйлера:

уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V}) = 0, \quad (1)$$

уравнением баланса импульса:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \mathbf{V}) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V} \mathbf{V}) + \nabla p = 0, \quad (2)$$

уравнением баланса полной энергии:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\rho E \mathbf{V}) + \nabla \cdot (p \mathbf{V}) = 0, \quad (3)$$

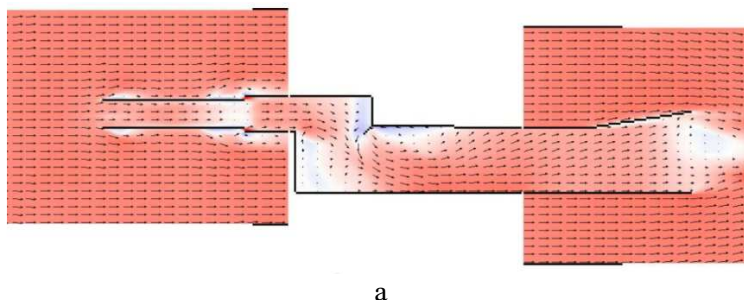
уравнениями состояния и связи внутренней и полной энергии:

$$p = p(\rho, e), E = \frac{\mathbf{V} \cdot \mathbf{V}}{2} + e, e = cT, \quad (4)$$

где ρ – плотность; $\mathbf{V}$ – вектор скорости; p – давление; E, e – удельная полная и удельная внутренняя энергии; c – удельная теплоемкость при постоянном давлении; T – температура; t – время.

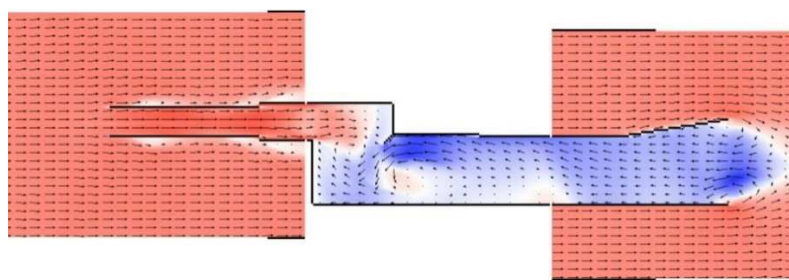
В качестве численного метода решения используется метод крупных частиц Давыдова. Теплоподвод подавался в объеме в районе расположения змеевика с частотой 100 Гц и постоянной температурой 2200 К, что соответствует температуре 1200°C, которая является реальной температурой горения при продувке двигателя со скоростью 60 м/с.

Визуализация скорости и давления воздушного потока (вид сбоку, продольный разрез) представлена на рисунке 2.



а

Рис. 2. Численный расчет ЭПуВРД, визуализация скорости и давления воздушного потока, продольный разрез: а – начало цикла



б

Рис. 2. Численный расчет ЭПуВРД, визуализация скорости и давления воздушного потока, продольный разрез: б – конец цикла

На рисунке 2 стрелками показано направление движения потока. В конце цикла после окончания процесса горения давление в камере сгорания становится ниже атмосферного, что также иллюстрирует рисунок 3, на котором представлен график изменений давления (кривая 1) и температуры (кривая 2) во времени.

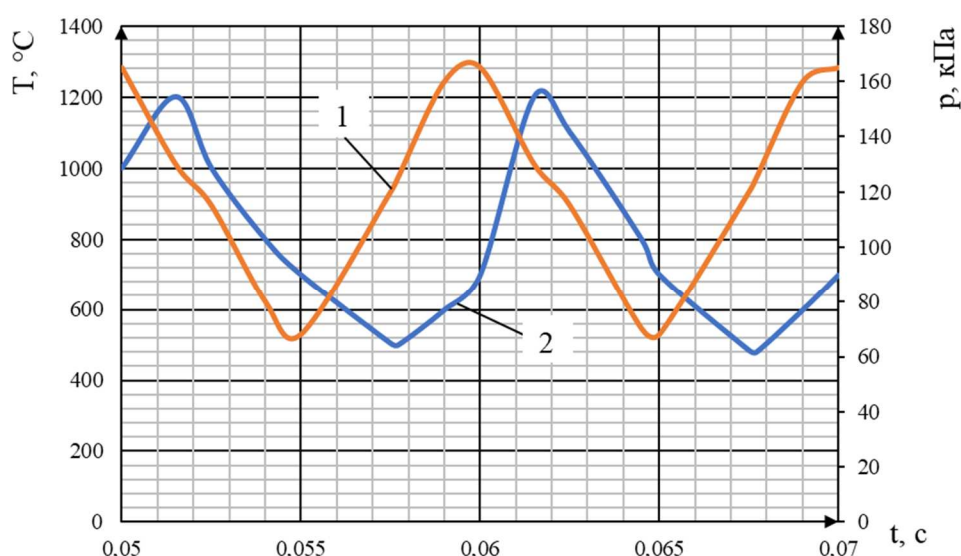


Рис. 3. График изменений давления и температуры во времени

Как видим (см. рис. 3), фазовый сдвиг между колебаниями теплоподвода и давления действительно составляет менее $\pi/2$, что подтверждает предположение о том, что источником автоколебаний в работающем двигателе является теплоподвод.

Список литературы

1. Патент № 2760340 РФ. Форкамерный пульсирующий воздушно-реактивный двигатель / К.А. Сиденко. – Заявка №2021102960 от 08.02.2021; опубл. 24.11.2021.
2. Мигалин К.В., Сиденко К.А., Мигалин К.К. Эжекторные пульсирующие воздушно-реактивные двигатели для около и сверхзвуковых скоростей полёта. Численные расчёты рабочего процесса. – Тольятти: Спект, 2024. – 268 с.
3. Раушенбах Б.В. Вибрационное горение. – М.: Физматгиз, 1961. – 500 с.

Сведения об авторах:

Сиденко Кирилл Алексеевич – аспирант;

Бирюк Владимир Васильевич – д.т.н., профессор кафедры теплотехники и тепловых двигателей.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ГОРЯЧЕГО БЕЗОПРАВОЧНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТРУБ

Выдрин А.В.¹, Фарукишин И.К.¹, Ахмеров Д.А.²

¹Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск;

²ООО «Исследовательский центр ТМК», Москва

Ключевые слова: непрерывная безоправочная прокатка труб, бесшовные трубы, концевая обрезь, разнотолщинность, оптимизация, калибровка, QForm 3D.

Аннотация. В статье представлены результаты комплекса исследований, направленных на развитие технологических основ непрерывного безоправочного деформирования труб. Разработана имитационная математическая модель процесса редуцирования, позволяющая рассчитывать продольные усилия в межклетевых промежутках и выбирать рациональный скоростной режим редуционно-растяжного стана. Показано, что оптимизация скоростного режима обеспечивает сокращение длины концевой обрезки на 20-30% без капитальных затрат. Установлено, что переход к трехвалковой калибровке уменьшает суммарную длину утолщенных концевых участков труб в 1,5 раза и позволяет снизить массу концевой обрезки на 10-15%. Выявлены основные причины искривления переднего конца трубы при несимметричных условиях редуцирования и предложены технологические меры его компенсации. Для снижения разнотолщинности заднего конца плети на извлекательно-калибровочном стане предложена оправка с проточкой. Выполнена оптимизация формы двухвалкового калибра, обеспечившая снижение обобщенного показателя разнотолщинности на 10%. Полученные результаты могут быть использованы при совершенствовании действующих режимов прокатки и проектировании новых калибровок непрерывных безоправочных станов.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF HOT MANDREL-FREE TUBE DEFORMATION TECHNOLOGY

Vydrin A.V.¹, Farukshin I.K.¹, Akhmerov D.A.²

¹South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk;

²TMK Research Center, Moscow, Russia

Keywords: continuous mandrel-free tube rolling, seamless pipes, end crop, wall thickness eccentricity, optimization, calibration, QForm 3D.

Abstract. This article presents the results of a comprehensive research study aimed at advancing the technological fundamentals of continuous mandrelless tube forming. An imitation mathematical model of the reduction process has been developed, enabling the calculation of longitudinal forces in inter-stand gaps and the selection of an optimal speed regime for a stretch-reducing mill. It is demonstrated that optimization of the speed regime reduces the length of end crop waste by 20-30% without requiring capital investment. It has been established that transitioning to a three-roll pass design decreases the total length of thickened end sections of tubes by a factor of 1.5 and reduces the mass of end crop waste by 10-15%. The primary causes of front-end tube curvature under asymmetric reduction conditions have been identified, and technological measures for its compensation have been proposed. To mitigate wall thickness variation at the rear end of the multi-length tube string on the extract-and-size mill, a grooved mandrel design is recommended. Optimization of the two-high roll pass profile has been performed, achieving a 10% reduction in the generalized wall thickness eccentricity index. The obtained results can be applied to improve existing rolling schedules and to design new pass configurations for continuous mandrelless mills.

Введение

Производство бесшовных труб является одним из ключевых направлений трубной промышленности. Безоправочное деформирование труб проводится на завершающих стадиях трубопрокатного агрегата и определяет не только конечные размеры изделия, но и величину технологических потерь металла.

Развитие технологических основ непрерывной безоправочной прокатки целесообразно рассматривать не как исследование отдельных частных режимов, а как последовательное решение комплекса прикладных задач, непосредственно влияющих на точность труб и производственные потери. К таким задачам относятся: выбор рационального скоростного режима прокатки, снижение длины концевых участков, устранение искривления переднего конца, уменьшение локального утонения задней части плети и совершенствование формы калибра.

Цель статьи – представить результаты выполненных авторами исследований, направленных на повышение эффективности непрерывного безоправочного деформирования труб. Основное внимание уделено не обзору известных подходов, а разработанным моделям и технологическим решениям, пригодным для практического применения на непрерывных безоправочных станах.

Имитационная модель непрерывной безоправочной прокатки

Одним из ключевых способов снижения металлопотерь при безоправочной прокатке труб является рациональное распределение продольных усилий по клетям редуционно-растяжного стана. Для решения этой задачи в работе [1] была разработана имитационная математическая модель процесса редуцирования труб, позволяющая последовательно рассчитывать продольные силы в межклетевых промежутках.

Практическая ценность предложенного подхода заключается в высоком быстродействии. Модель, реализованная в средах MS Excel и MATLAB, обеспечивает расчет одного варианта за доли секунды. Это позволило использовать ее не только как исследовательский инструмент, но и как основу для оперативного подбора технологических режимов без обращения к трудоемким конечно-элементным расчетам.

Сопоставление результатов с расчетами в QForm 3D показало их высокую сходимость, что подтвердило корректность принятого алгоритма и возможность его использования для инженерной практики.

Благодаря возможности расчета напряжений от заднего и переднего продольных усилий имитационная модель может быть использована для нахождения оптимального скоростного режима в целях уменьшения длины обрезаемых концевых участков труб, что позволит минимизировать убытки в виде уменьшения длины отрезаемых концов труб на 20-30%.

Исследование процесса образования концевых участков труб при продольной прокатке в калибрах, образованных разным числом валков

Исследование по изучению механизма образования концевых участков было выполнено комбинированным методом: физическим моделированием на лабораторном стане и компьютерным моделированием в QForm 3D [2]. Сравнивались режимы прокатки полых заготовок в двух- и трехвалковых калибрах при одинаковых степенях обжатия.

Ключевым результатом является переход от двухвалковой к трехвалковой калибровке, которая снижает суммарную длину некондиционных концевых участков труб в 1,5 раза при сопоставимых режимах деформации.

Получены инженерные эмпирические зависимости длины концевой обрезки L от коэффициента вытяжки μ и параметра тонкостенности D/S .

Применение полученных зависимостей при проектировании новых систем калибров позволит снизить массу концевой обрезки на 10-15%.

Искривление переднего конца трубы при несимметричных условиях непрерывного безоправочного деформирования

Одним из наиболее существенных дефектов, возникающих при непрерывном безоправочном деформировании, является искривление переднего торца трубы. Этот дефект образуется в результате несимметричных условий прокатки и приводит к снижению общего качества готовой продукции, увеличению брака и усложнению дальнейшей обработки. В работе [3] проводилось комплексное исследование механизма образования дефекта на примере редуцирования в клетях редуционно-калибровочного стана.

Параметрическое моделирование в QForm 3D охватывало 28 вариантов прокатки с варьированием угла скоса торца заготовки, неравномерности температурного поля и разности диаметров валков. Толщина стенки варьировалась от 9 до 15 мм, степень деформации до 37%. В качестве критерия оценки дефекта принималось отклонение образующей от оси прокатки на базе 400 мм.

Установлены три независимые причины искривления: неравномерность температурного поля по сечению раската, скос переднего торца после пилы горячей резки, разница диаметров верхнего и нижнего валков клетки.

По результатам работы сформулированы технологические рекомендации: для компенсации искривления в первых клетях следует устанавливать верхний валок, увеличенный на 1...6% относительно нижнего (для $s = 9$ мм на 1...3%, для $s = 11$ мм на 2...6%).

Кинематико-силовое взаимодействие непрерывного стана и извлекательно калибровочного стана (ИКС)

В работе [4] исследовано формирование локального утонения стенки на заднем конце плети при стягивании трубы с удерживаемой оправки непрерывного стана. Установлено, что на базовой технологии разнотолщинность заднего конца достигает 1,8 мм (18% номинальной толщины стенки) при разностенном участке 40% общей длины трубы.

В качестве технического решения была предложена оправка с проточкой переменной длины на переднем конце. Компьютерное моделирование в QForm 3D показало, что увеличение длины проточки с 0 до 1000 мм снижает пиковое усилие удержания оправки с 0,45 МН до значений менее 0,1 МН.

Применение оправки с проточкой 1000 мм совместно с увеличением скорости валков ИКС на 10% снизило разнотолщинность задней части плети на 15%. Разностенный участок при этом локализован непосредственно на заднем торце, что позволяет удалить весь дефект незначительной обрезкой.

Оптимизация формы двухвалкового калибра

В исследовании [5] проводилось решение оптимизационной задачи с целью одновременной минимизации продольной s_x и поперечной s_r составляющих разнотолщинности трубы. Обобщенный критерий оптимальности определен как норма вектора (s_x, s_r) . В качестве управляющих параметров были выбраны эксцентриситет e и угол выпуска α .

Оптимизация проводилась градиентным методом на основе полно факторного эксперимента 2^2 в QForm 3D. В качестве точки первого приближения использовалась действующая калибровка непрерывного безоправочного стана.

По результатам моделирования была найдена оптимальная калибровка, которая позволила снизить целевую функцию на 10% по сравнению с действующей калибровкой. При этом использование оптимальной калибровки приводит к более равномерному распределению толщины стенки как по длине трубы, так и по периметру ее сечения.

Заключение

Выполненный комплекс исследований показал, что повышение точности бесшовных труб на стадии безоправочного деформирования достигается только при совместном управлении кинематическими, калибровочными и конструктивными параметрами процесса. Полученные результаты охватывают основные источники металлопотерь и отклонений геометрии трубы на завершающем переделе горячей прокатки.

Практическая значимость работы заключается в том, что для каждого рассмотренного случая было предложено инженерное решение с подтвержденным количественным эффектом: оптимизация скоростного режима обеспечивает сокращение концевой обрезки на 20-30%, применение трехвалковой калибровки уменьшает длину некондиционных концов в 1,5 раза и снижает массу обрезки на 10-15%, компенсация несимметричных условий редуцирования достигается подбором разного диаметра валков, использование оправки с проточкой и корректировка скорости уменьшают разнотолщинность задней части плети на 15%, оптимизация формы калибра дополнительно снижает обобщенный показатель разнотолщинности на 10%.

Таким образом, выполненные исследования формируют не набор частных рекомендаций, а технологическую основу для последующего совершенствования процесса безоправочной непрерывной прокатки.

Список литературы

1. Выдрин А.В., Ахмеров Д.А., Храмов Е.В. Имитационная математическая модель процесса редуцирования труб // Черные металлы. – 2021. – №10. – С. 56-60. – DOI: 10.17580/chm.2021.10.10.
2. Ахмеров Д.А., Выдрин А.В. Исследование процесса образования концевых участков труб при продольной прокатке в калибрах с разным числом валков // Черные металлы. – 2021. – №1. – С. 44-48. – DOI: 10.17580/chm.2021.01.06.

3. Выдрин А.В., Фарукшин И.К., Ахмеров Д.А., Чаплыгин Б.А. Исследование формоизменения концов труб при несимметричных условиях процесса редуцирования // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2025. – Т. 81, №10. – С. 37-43. – DOI: 10.32339/0135-5910-2025-10-37-43.
4. Ахмеров Д.А., Выдрин А.В., Фарукшин И.К., Ульянов А.Г., Мотяков С.Ю., Буняшин М.В. Исследование процесса формирования геометрических параметров бесшовных труб: анализ кинематико-силового взаимодействия на извлекательно-калибровочном стане // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2025. – Т. 25, №1. – С. 37-43. – DOI: 10.14529/met250104.
5. Фарукшин И.К., Выдрин А.В., Ахмеров Д.А., Чаплыгин Б.А. Оптимизация формы калибра при безоправочной прокатке труб // Черные металлы. – 2026. – №2. – С. 91-95. – DOI: 10.17580/chm.2026.02.13.

Сведения об авторах:

Выдрин Александр Владимирович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой процессов и машин обработки металлов давлением;

Фарукшин Илья Камильевич – аспирант;

Ахмеров Денис Альфредович – заместитель заведующего лабораторией моделирования технологических процессов.

ВЫБОР АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ПО КРИТЕРИЮ «ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ»

Шабунин С.В., Денисова Л.А.

Омский государственный технический университет, Омск

Ключевые слова: автомобильные аккумуляторные батареи, метод анализа иерархий, метод нечеткий многокритериальный анализ, иерархическая структура, автоматизация выбора, глобальный приоритет.

Аннотация. В данной статье рассматривается реализация метода анализа иерархий, заключающийся в количественной оценке и сравнении альтернатив. На первом этапе для каждой альтернативы вычисляются взвешенные локальные приоритеты путём умножения локального приоритета альтернативы по каждому критерию на соответствующий весовой коэффициент данного критерия. Далее производится агрегирование полученных результатов: для каждой альтернативы суммируются произведения по всем критериям, что позволяет определить её глобальный приоритет. Заключительным этапом выступает сравнительный анализ альтернатив, в ходе которого на основе рассчитанных глобальных приоритетов осуществляется их ранжирование и выявление наиболее предпочтительных решений.

CHOOSING CAR BATTERIES BASED ON «ECONOMICAL EFFICIENCY»

Shabunin S.V., Denisova L.A.

Omsk State Technical University, Omsk

Keywords: automotive batteries, hierarchical analysis method, fuzzy multi-criteria analysis method, hierarchical structure, automated selection, global priority.

Abstract. This article discusses the implementation of the hierarchy analysis method, which consists in quantifying and comparing alternatives. At the first stage, weighted local priorities are calculated for each alternative by multiplying the local priority of the alternative for each criterion by the corresponding weighting factor of this criterion. Next, the results are aggregated: for each alternative, the products are summarized according to all criteria, which makes it possible to determine its global priority. The final stage is a comparative analysis of alternatives, during which, based on calculated global priorities, they are ranked and the most preferred solutions are identified.

Введение

Для управления торговым процессом предприятиям необходимо использовать современные интеллектуальные технологии, для обеспечения устойчивого роста. В настоящее время в торговой системе информационные системы недостаточно развиты, особенно системы, позволяющие сделать выбор продукции конечным покупателям.

Торговая фирма (ТФ) «Николь» – крупнейший поставщик автомобильных запасных частей в Сибирском федеральном округе. Автомобильные аккумуляторные батареи (ААБ) являются важной частью ассортимента матрицы организации. Проект внедрения системы выбора ААБ покупателям является необходимым условием для успешного ведения торговой деятельности предприятия. Основными оптовыми покупателями предприятия являются розничные торговые точки, продажа ААБ в которых осуществляется по предложениям продавца. Это создает значительные трудности в продаже ассортиментных позиций торговой организации в следствии присутствия в розничных торговых точках ассортимента конкурентных торговых организаций. Внедряемая система позволит торговым точкам производить покупателям обоснованный выбор и минимизировать возможные возвраты ААБ. Данная система позволит производить выбор ААБ только из номенклатуры организации, что повысит конкурентоспособность ААБ организации, при широком разнообразии торговых марок ААБ на торговом рынке. Для разработки системы выбора ААБ необходимо произвести анализ требований к эксплуатационным характеристикам предъявляемые покупателями при выборе ААБ.

Анализ требований к эксплуатационным характеристикам и выбор модели автомобильных аккумуляторных батарей

Анализ требований к эксплуатационным характеристикам осуществлен посредством построения иерархической структуры, выполняется декомпозиция задачи, представляющая собой

метод структурирования, осуществляемый по принципу «сверху вниз». В данном подходе производится последовательное выделение элементов задачи выбора ААБ посредством перехода от общих уровней иерархии к более конкретным. Логическая структура выбора ААБ представлена на (рис. 1).

Исходные данные для исследования получены от ТФ «Николь» и представлены массивом и состоят из технологических характеристик и моделей АБ (табл. 1).

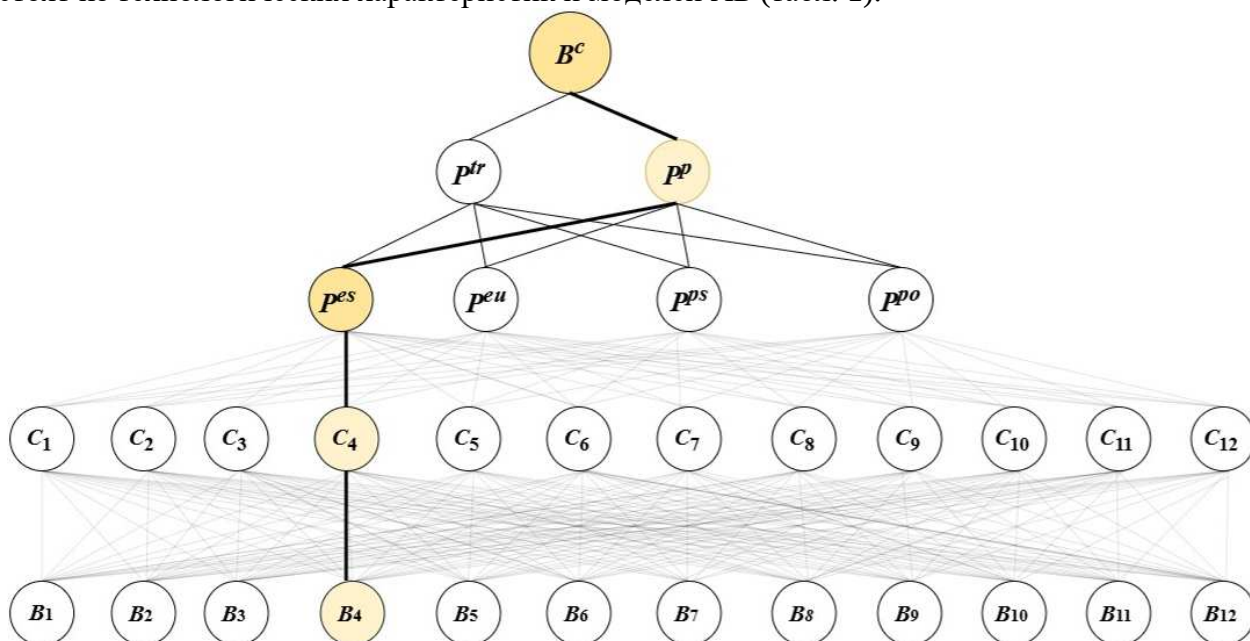


Рис. 1. Логическая структура выбора ААБ

Табл. 1. Технологические характеристики автомобильных аккумуляторных батарей

№	Модель ААБ	Технологические характеристики ААБ											
		I_{CCA} , А	C_n , А·ч	T_{rez} , мин	D_{pr}	T_{gar} , мес.	N_r	T_{obs} , мес.	D_{ind}	M_{sep}	$Scash$, тыс. руб.	D_p	P_s , мес.
		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}
1	ACTIVE FROST 6ст-55 B_1	460	60	70	Ca-Ca	12	2	6	Нет	-	4	РФ	24
2	Актех 6ст-55 B_2	520	55	90	Ca-Ca	24	2	6	Да	1	5,5	РФ	36
3	Зверь 6ст-55 B_3	540	65	110	Ca^+	36	3	3	Да	2	7	РФ	36
4	Зверь EFB 6ст-55 B_4	560	60	120	EFB	48	2	6	Да	2	9	РФ	48
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
11	Mutlu 6 ст-65 B_{11}	600	60	100	Ca-Ca	24	2	6	Да	2	11	TUR	24
12	Alphaline Ultra 6 ст-68 B_{12}	680	68	120	Ca-Ca	48	4	6	Да	2	12	KR	48

В таблице 1 обозначено: I_{CCA} – стартовый ток; C_n – номинальная емкость; T_{rez} – время резервной емкости; D_{pr} – технология изготовления N_r – метод изготовления пластин (1 – литье, 2 – растяжка, 3 – литье/растяжка, 4 – вырубка); T_{obs} – период обслуживания; D_{ind} – наличие индикатора заряда; M_{sep} – материал изготовления сепаратора (1 – полиэтилен, 2 – стекломат); S_{cash} – стоимость; D_p – страна производитель; P_s – срок службы, T_{gar} – гарантийный срок.

На первом уровне иерархии в рамках метода анализа иерархий находится цель – выбор ААБ B^c , на пятом уровне альтернативные варианты выбора моделей ААБ. Промежуточные уровни занимают критерии и характеристики ААБ обеспечивающие логическую связь. Прежде чем приступить к выбору модели ААБ производится оценка относительной значимости элементов иерархии посредством их попарного сравнения по каждому критерию вышестоящего уровня. Критерии и характеристики ААБ эксперты сравнивают попарно, составляются матрицы парных сравнений и оценивают их с помощью девятибалльной шкалы Саати [1].

На первом этапе сравниваются частные критерии в соответствии с предпочтениями покупателей [2]. На основании парных сравнений установлено, что наиболее значимые параметры при выборе ААБ по данному критерию являются параметры C_n , I_{CCA} , D_{pr} , N_r , N_r . Методом аналитической иерархии произвели сужение множества моделей ААБ по основным технологическим параметрам ААБ: B_4 , B_{10} , B_5 , B_7 , B_7 .

Выбор модели производится методом нечеткого многокритериального анализа, в котором оценивается преимущество одного элемента над другим для каждой пары элементов множества моделей ААБ [3]. Полученные результаты для каждой модели представлены на (рис. 2), где изображены нормированные оценки эксперта (от 0 до 1) по каждому параметру C_i .



Рис. 2. Сравнение моделей $B_4 \div B_{10}$ с учетом важности параметров $C_1 \div C_{10}$

Модель B_4 (утолщенная линия) обладает наибольшей степенью принадлежности итоговому нечеткому решению, что указывает на её наивысшую согласованность со всеми критериями с учётом их важности. B_{10} занимает второе место ($\mu=0,524$), демонстрируя также относительно высокий уровень соответствия. B_7 ($\mu=0,474$), B_5 и B_9 ($\mu=0,387$) обладают меньшими значениями принадлежности, причём альтернативы 2 и 4 являются наименее предпочтительными в рамках заданных критериев и их весов. Следовательно, именно модель B_4 будет рекомендована сотруднику ответственного за закуп для установки на автомобиль.

Выводы и заключение

Проведенные исследования позволили установить технологические параметры, влияющие на выбор автомобильных аккумуляторных батарей. Разработаны иерархическая структура и алгоритм выбора автомобильных аккумуляторных батарей, что позволяет осуществить автоматизированный выбор при разных условиях эксплуатации технологического оборудования. Проведенные исследования позволили установить, что итоговый выбор автомобильных аккумуляторных батарей методом многокритериальным анализом является эффективным подходом. Система подбора показала свою чувствительность к изменениям предпочтений ответственного за закуп сотрудника при выборе автомобильных аккумуляторных батарей, чем обусловлено различными условиями эксплуатации автотранспортных средств.

Список литературы

1. Саати Т.Л. Взаимодействие в иерархических системах // Техническая кибернетика. – 1979. – №1. – С. 68-84.

2. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Интеллектуальные информационные системы и методы искусственного интеллекта: Учебное пособие. – М.: ИНФРА-М, 2021. – 530 с.
3. Штовба С.Д. Идентификация нелинейных зависимостей с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB // Exponenta Pro: Математика в приложениях. – 2003. – №2. – С. 9-15.

Сведения об авторах:

Шабунин Сергей Владимирович – ассистент;

Денисова Людмила Альбертовна – научный руководитель, д.т.н., профессор кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

РАЗВЕРТЫВАНИЕ МОБИЛЬНОЙ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ

Петриев Я.А.

Омский государственный технический университет, Омск

Ключевые слова: сотовая связь, базовая станция, мобильный комплекс связи, эксплуатация сети, мобильная связь, мобильный интернет.

Аннотация. В работе рассматриваются теоретико-прикладные аспекты размещения и развертывания мобильных базовых станций разных типов стандарта LTE в условиях современной телекоммуникационной инфраструктуры, замещения одной базовой станции на момент строительства стационарной. Особое внимание уделено развертыванию мачтового сооружения мобильной базовой станции, подключению к энергетической инфраструктуре и транспортной связности базовых станций.

DEPLOYMENT OF A MOBILE BASE STATION

Petrieve Y.A.

Omsk State Technical University, Omsk

Keywords: cellular communication, base station, mobile communication complex, network operation, mobile communications, mobile internet.

Abstract. This paper examines the theoretical and applied aspects of the placement and deployment of various types of LTE mobile base stations within the current telecommunications infrastructure, including the replacement of one base station during the construction of a fixed one. Particular attention is paid to the deployment of the mobile base station mast, connection to the power infrastructure, and transport connectivity of the base stations.

I. Введение

Современное развитие телекоммуникационных технологий характеризуется стремительным ростом объемов передаваемых данных и увеличением требований к качеству мобильной связи. Стандарт LTE, разработанный организацией 3GPP, стал одним из ключевых этапов эволюции мобильных сетей четвертого поколения (4G), обеспечивая высокую пропускную способность, низкие задержки передачи данных и эффективное использование спектральных ресурсов.

Основным элементом инфраструктуры LTE является базовая станция, которая обеспечивает радиодоступ абонентских устройств к сети оператора и является самым близким элементом к абоненту. Эффективность функционирования сети LTE в значительной степени определяется корректностью выбора места размещения базовой станции, качеством радиопланирования и соблюдением инженерных требований при развертывании оборудования.

Размещение базовой станции представляет собой комплексную инженерную задачу, включающую анализ радиочастотной обстановки, топографических особенностей местности, плотности абонентов, требований по электропитанию и транспортной сети [1].

II. Случай использования мобильной базовой станции

Мобильная базовая станция помогает в организации мобильной связи в месте скопления людей во время массовых мероприятий, организации праздников, пунктов временного размещения. Базовая станция рассчитана на определенное количество абонентов, поэтому, когда во время праздников и массовых гуляний в одном месте собирается повышенное количество людей, нагрузка на базовые станции вырастает. В эти моменты не все абоненты могут осуществлять звонки и пользоваться мобильным интернетом, в связи с этим появляется потребность в увеличении емкости сети и использовании мобильной базовой станции на колесах [2].

III. Процесс развертывания мобильной базовой станции

Развертывание мобильной базовой станции начинается с точки выбора места размещения на местности. Точка размещения мобильной базовой станции должна учитывать хорошие пути подъезда группе полевой эксплуатации при возникновении внештатных ситуаций, также площадка для размещения должна быть охраняема от постороннего контингента, так как является

частью инфраструктуры оператора мобильной связи и её отключение может повлечь за собой отсутствие покрытия на определенной территории местности.

Перед развертыванием передвижной базовой станции необходимо подключить её к линии постоянного электропитания, а на случай отключения предусмотреть и проверить работу дизель-генератора и наличие комплекса аккумуляторных батарей [2].

Далее происходит развертывание мачтового сооружения, который включает в себя процесс подвеса антенны на высоту от 15 до 40 метров в зависимости от конкретных возможностей мобильного комплекса.

После выбора азимутальной ориентации антенн, выставления параметров механического угла наклона антенн происходит процесс подключения фидерных линий и механизмов регулировки электрического угла наклона антенн [3].

Зачастую используются мачты с пневматическим выдвижным механизмом. Компрессор, установленный в комплексе, создает давление внутри одной из секции мачт, выдвигая одну секцию за другой. По мере раскрытия одной секции от другой происходит срабатывание фиксирующих замков, которые остаются в неподвижном положении. Таким образом конструкция мачты постепенно и планомерно увеличивается [3].

Далее мачта фиксируется, использованием нескольких ярусов оттяжек и нескольких металлических колов, фиксирующихся с помощью метода забуривания. Далее сам мобильный комплекс фиксируется с помощью специальных упоров на параллельных металлических трубостойках.

Далее оборудование подключается к электропитанию – от ближайшей сети или генератора, если ее нет. Одновременно с этим на мачту крепятся антенны сотовой связи в зависимости от разрешенного частотного диапазона в данном участке местности.

Для интегрирования мобильной базовой станции в инфраструктуру оператора требуется организовать служебную линию связи. Для этого используются защищенные медные кабели (протяженностью до 150 метров), оптоволоконные каналы, радиорелейные линии связи. А за счет специального спутникового оборудования передвижная базовая станция интегрируется в единую инфраструктуру в труднодоступных местах вдали от других транспортных каналов [4].

Наименее затратным и самым простым способом организации служебной линии является применение радиорелейных каналов, скорость передачи данных в которых может достигать 1 Гбит/с. Нужно, чтобы в пределах прямой видимости находилась стационарная базовая станция, оснащенная радиорелейным каналом связи. На нее направляется дополнительная параболическая антенна передвижного комплекса [4].

IV. Заключение

Развертывание мобильной базовой станции представляет собой комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на оперативное обеспечение устойчивого радиопокрытия и функционирования телекоммуникационной инфраструктуры в заданном районе. Несмотря на относительную технологическую простоту процесса, эффективность развертывания напрямую зависит от корректности инженерных решений, принимаемых на каждом этапе выполнения работ. Ключевое значение имеют выбор оптимального места размещения мобильной базовой станции с учетом особенностей рельефа местности и соблюдение нормативных требований в области промышленной и электротехнической безопасности.

Особое внимание при развертывании мобильной базовой станции уделяется обеспечению устойчивости антенно-мачтовых сооружений, надежности систем энергоснабжения и корректности монтажа телекоммуникационного оборудования. Установка мачты, подключение панельных и радиорелейных антенн, организация каналов передачи данных и подключение к стационарным источникам электропитания требуют строгого соблюдения технических регламентов и эксплуатационных стандартов. От качества выполнения указанных мероприятий зависит не только стабильность функционирования сети связи, но и уровень доступности телекоммуникационных услуг для конечных пользователей.

Следует отметить, что мобильные базовые станции обладают высокой степенью адаптивности и могут эффективно применяться как в условиях временного увеличения нагрузки на сеть связи, так и при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, в удаленных и

труднодоступных районах, а также при проведении массовых мероприятий. Их использование позволяет в кратчайшие сроки организовать устойчивые каналы связи, минимизировать вероятность потери сигнала и обеспечить требуемый уровень качества обслуживания абонентов.

Таким образом, развертывание мобильной базовой станции следует рассматривать не только как совокупность монтажно-технических операций, но и как важный элемент обеспечения устойчивости и непрерывности функционирования современной инфраструктуры связи, имеющий стратегическое значение для развития информационно-коммуникационных систем.

Список литературы

1. Телекоммуникационная компания «Мегафон» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gov.megafon.ru/products/peredviznaya-bazovaya-stanciya#7>.
2. Бурханова А.Д., Гильфанова А.Ф. Проектирование антенн базовых станций 5G // Научно-технический вестник Поволжья. – 2024. – №7. – С. 40-42.
3. Росляков А.В., Назметдинов Д.Е. Сравнительный анализ методов настроек параметров базовых станций сети LTE // Первая миля. – 2026. – №1. – С. 34-41.
4. Момуналиева Н.Т., Алымкулов С.А., Тынышова Т.Д. Обзор и анализ методов оптимизации и моделирования позиционирования базовых станций // Бюллетень науки и практики. – 2025. – Т. 11, №5. – С. 145-151.

Сведения об авторе:

Петриев Ярослав Александрович – студент.

РАЗМЕЩЕНИЕ МОБИЛЬНОЙ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ ПРИ РЕМОНТЕ СТАЦИОНАРНОЙ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ

Петриев Я.А.

Омский государственный технический университет, Омск

Ключевые слова: сотовая связь, базовая станция, мобильный комплекс связи, эксплуатация сети, мобильная связь, мобильный интернет, ремонт базовой станции.

Аннотация. В работе рассматриваются теоретико-прикладные аспекты размещения и развертывания мобильных базовых станций разных типов стандарта LTE в условиях замены одной базовой станции на другую при ремонте. Особое внимание уделено развертыванию мачтового сооружения мобильной базовой станции, направлению азимутов секторов панельных антенн, подключению к энергетической инфраструктуре и транспортной связности базовых станций.

PLACING A MOBILE BASE STATION DURING REPAIR OF A STATIONARY BASE STATION

Petrieve Y.A.

Omsk State Technical University, Omsk

Keywords: cellular communications, base station, mobile communications complex, network operation, mobile communications, mobile Internet, base station repair.

Abstract. This paper examines the theoretical and applied aspects of the placement and deployment of mobile base stations of various types using the LTE standard, considering the need to replace one base station with another during repairs. Particular attention is paid to the deployment of the mobile base station mast structure, the azimuth orientation of the panel antenna sectors, connection to the power infrastructure, and the transport connectivity of the base stations.

I. Введение

Во время работы базовой станции возникают случаи, когда базовую станцию необходимо временно отключить, демонтировать. Со временем антенно-мачтовые сооружения претерпевают значительные изменения за счет наружного размещения, что приводит к их аварийности без должного ухода. Часть базовых станций стоит в труднодоступной местности, подъездные пути при эксплуатации таких сооружений могут быть сильно затруднены.

Во многом подразделения полевой эксплуатации выезжают на объекты не часто, зачастую есть вероятность вывода из сети одной из базовых станций, в таких случаях рассматривается временная альтернатива на время стройки новой базовой станции.

В связи с этим возникает актуальная научно-практическая задача оперативной компенсации дефицита сетевой емкости и восстановления радиопокрытия в зонах временного вывода из эксплуатации стационарных базовых станций за счет развертывания мобильных базовых станций (МБС), выполненных на колесных шасси, в контейнерном исполнении либо в виде мобильных сооружений связи, размещаемых на прицепных платформах [1]. Использование подобных технических решений позволяет обеспечить непрерывность предоставления услуг подвижной радиосвязи, а также поддержание требуемых показателей качества обслуживания абонентов в условиях деградации или частичной недоступности элементов телекоммуникационной инфраструктуры.

Предлагаемая методика размещения мобильной базовой станции ориентирована на решение задачи пространственно-параметрической оптимизации положения мобильной базовой станции в структуре действующей сети радиодоступа. В рамках методики осуществляется определение рациональных пространственных координат размещения мобильной станции, а также оптимизация азимутальной ориентации секторов панельных антенных систем с учетом текущей радиочастотной обстановки, конфигурации соседних сот и особенностей распределения абонентской нагрузки. Основной целью предлагаемого подхода является минимизация уровня межсотовой интерференции, повышение спектральной эффективности радиointерфейса и обеспечение требуемого уровня качества радиопокрытия в зоне обслуживания. Дополнительно методика учитывает необходимость балансировки трафика между соседними базовыми

станциями, что способствует повышению устойчивости и энергетической эффективности функционирования сети мобильной связи в условиях проведения ремонтно-восстановительных работ.

II. Состав и архитектура оборудования МБС

Современная мобильная базовая станция представляет собой автономный программно-аппаратный телекоммуникационный комплекс, предназначенный для оперативного развертывания в районах временного отсутствия или деградации инфраструктуры сети радиодоступа [2]. Конструктивно МБС размещается на автомобильном шасси повышенной проходимости (например, КамАЗ, ГАЗель Next) либо на специализированной прицепной платформе, обеспечивающей мобильность, автономность и возможность быстрого ввода объекта в эксплуатацию.

Одним из ключевых требований при организации временного замещения стационарной площадки связи является обеспечение конфигурационного соответствия мобильной базовой станции параметрам демонтируемой или выводимой в ремонт базовой станции.

В частности, мобильная должна поддерживать аналогичный набор радиотехнологий, диапазонов частот, ширину частотных полос, конфигурацию MIMO, а также сопоставимые параметры радиопокрытия и емкости сети. Сохранение исходного частотного ресурса и параметров радиointерфейса позволяет минимизировать деградацию качества обслуживания абонентов, обеспечить непрерывный доступ к предоставляемым услугам связи и сохранить требуемые показатели скорости передачи данных, задержек и стабильности соединения в период проведения ремонтно-восстановительных работ.

Функциональная структура мобильной базовой станции включает несколько взаимосвязанных подсистем. Радиотехническая подсистема содержит блок цифровой обработки сигналов BBU (BaseBand Unit), а также удаленные радиомодули RRU (Remote Radio Unit), подключаемые посредством фидерных трактов к секторным панельным антеннам. Данная архитектура обеспечивает обработку пользовательского и служебного трафика, формирование радиосигнала и реализацию взаимодействия с абонентскими устройствами в соответствии с используемыми стандартами мобильной связи.

Антенно-мачтовое сооружение мобильной станции, как правило, реализуется в виде телескопической мачты с гидравлическим либо пневматическим механизмом подъема. Конструкция обеспечивает размещение антенных систем на высоте от 15 до 40 метров, что позволяет формировать требуемую диаграмму направленности и обеспечивать необходимую зону радиопокрытия с учетом особенностей рельефа местности и плотности городской застройки [1].

Важным элементом МБС является транспортная подсистема, обеспечивающая подключение к опорной сети оператора связи. В большинстве случаев организация транспортного канала осуществляется посредством радиорелейных линий связи высокой пропускной способности. При отсутствии условий прямой радиовидимости или в чрезвычайных ситуациях могут использоваться низкоорбитальные спутниковые системы передачи данных, позволяющие сохранить работоспособность мобильной станции даже в условиях ограниченной инфраструктурной доступности.

Для обеспечения стабильного функционирования телекоммуникационного оборудования в составе МБС предусматривается климатическая подсистема, включающая специализированный климатический шкаф и систему прецизионного кондиционирования. Данная подсистема предназначена для поддержания нормативного температурно-влажностного режима эксплуатации радиоэлектронного оборудования при воздействии внешних климатических факторов и значительных суточных перепадах температуры окружающей среды.

III. Процесс размещения мобильной базовой станции при замене существующей базовой станции

Размещение мобильной базовой станции в период проведения ремонтных, модернизационных или аварийно-восстановительных работ на существующей стационарной площадке связи представляет собой комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение непрерывности функционирования сети радиодоступа и

сохранение требуемого уровня качества обслуживания абонентов. В отличие от временного развертывания МБС при массовых мероприятиях, в данном случае основная задача заключается не в увеличении сетевой емкости, а в компенсации временно утраченного радиопокрытия и предотвращении деградации параметров сети в зоне обслуживания демонтируемой базовой станции.

На первоначальном этапе производится анализ параметров выводимой из эксплуатации базовой станции, включающий оценку конфигурации радиосети, используемых диапазонов частот, количества секторных направлений, параметров антенных систем, структуры транспортного подключения и распределения абонентской нагрузки. Особое внимание уделяется сохранению идентичной конфигурации мобильной базовой станции относительно заменяемого объекта. МБС должна поддерживать аналогичный набор радиотехнологий, частотных диапазонов и ширину полосы частот, а также обеспечивать сопоставимые показатели пропускной способности и зоны покрытия. Подобный подход позволяет минимизировать влияние ремонтных работ на качество предоставляемых услуг связи и сохранить для абонентов доступ к необходимым сервисам передачи данных, голосовой связи и мультимедийных услуг без существенного снижения скорости соединения и увеличения задержек в сети [3].

Выбор точки размещения мобильной базовой станции осуществляется с учетом расположения существующей инфраструктуры, конфигурации городской застройки, особенностей рельефа местности и необходимости обеспечения электромагнитной совместимости с соседними базовыми станциями. Наиболее рациональными площадками размещения являются прилегающие технические территории, парковочные зоны, свободные участки возле антенно-мачтовых сооружений либо технологические площадки оператора связи, расположенные в непосредственной близости от демонтируемого объекта. Размещение МБС на минимальном удалении от исходной площадки позволяет сохранить существующую структуру радиопокрытия и минимизировать необходимость перенастройки параметров соседних сот.

После определения точки установки осуществляется подключение мобильной базовой станции к системе электроснабжения объекта с обязательной организацией резервирования питания посредством дизель-генераторной установки и аккумуляторных батарей. Далее производится развертывание телескопического антенно-мачтового сооружения, высота которого определяется на основании параметров демонтируемой базовой станции, особенностей окружающей застройки и требуемой зоны радиопокрытия. При необходимости высота подвеса антенных систем корректируется для компенсации затенения сигнала зданиями, инженерными сооружениями и другими препятствиями распространения радиоволн.

На этапе монтажа антенно-фидерного оборудования особое внимание уделяется настройке азимутов секторных панельных антенн, а также механических и электрических углов наклона. Ориентация секторов производится с учетом конфигурации существующей сети радиодоступа и направлений основной абонентской нагрузки. В большинстве случаев азимуты антенн мобильной станции повторяют параметры демонтируемой базовой станции, что позволяет обеспечить преемственность структуры покрытия и снизить уровень межсотовой интерференции. Дополнительно выполняется оптимизация параметров радиосети с целью предотвращения перегрузки соседних сот и сохранения требуемой спектральной эффективности.

IV. Заключение

Таким образом, применение мобильных базовых станций при проведении спортивно-массовых мероприятий является эффективным инструментом оперативного повышения емкости и расширения зоны покрытия сети подвижной радиосвязи в условиях кратковременного, но значительного роста абонентской нагрузки.

Проведенный анализ показал, что ключевыми факторами успешного развертывания мобильного комплекса являются рациональный выбор площадки размещения, корректная ориентация секторных антенн относительно зон концентрации пользователей, обеспечение бесперебойного электропитания, а также организация надежного транспортного канала связи с инфраструктурой оператора.

Список литературы

1. Нуградинов А.О. Совершенствование управления базовыми станциями операторов мобильной связи в условиях рынка // Научный лидер. – 2023. – №27(125). – С. 31-35.
2. Оспанов Б.Т. Мобильная базовая станция на базе УРАЛ-5223 // Динамика развития системы военного образования: материалы VI Международной научно-практической конференции (Омск, 14 марта 2024 г.) / Омский государственный технический университет. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2024. – С. 748-751.
3. Брусов Е.С., Преображенский А.П. Анализ излучения секторов базовых станций 5G // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2023. – Т. 17, №2. – С. 47-50.

Сведения об авторе:

Петриев Ярослав Александрович – студент.

РАЗМЕЩЕНИЕ МОБИЛЬНОЙ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МАССОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Петриев Я.А.

Омский государственный технический университет, Омск

Ключевые слова: сотовая связь, базовая станция, мобильный комплекс связи, эксплуатация сети, мобильная связь, мобильный интернет, массовые мероприятия.

Аннотация. В работе рассматриваются теоретико-прикладные аспекты размещения и развертывания мобильных базовых станций разных типов стандарта LTE в условиях проведения массовых мероприятий. Особое внимание уделено развертыванию мачтового сооружения мобильной базовой станции, направлению азимутов секторов панельных антенн, подключению к энергетической инфраструктуре и транспортной связности базовых станций.

PLACEMENT OF A MOBILE BASE STATION DURING MASS EVENTS

Petrieve Y.A.

Omsk State Technical University, Omsk

Keywords: cellular communication, base station, mobile communications complex, network operation, mobile communications, mobile internet, mass events.

Abstract. This paper examines the theoretical and applied aspects of the placement and deployment of various types of LTE mobile base stations during mass events. Particular attention is paid to the deployment of the mobile base station mast structure, the azimuth orientation of panel antenna sectors, connection to the power infrastructure, and the transport connectivity of the base stations.

I. Введение

Привычные массовые мероприятия, международные форумы, стадионные концерты, спортивные матчи формируют сверхвысокую плотность абонентов. Это приводит к высокой утилизации в радиоканалах стационарных сетей мобильной связи. Традиционное стационарное планирование сетей 4G/5G ориентировано на среднестатистический профиль нагрузки. Инвестиции в избыточную постоянную емкость экономически неэффективны.

В связи с этим возникает научно-практическая задача оперативной компенсации дефицита емкости или покрытия за счет развертывания мобильных базовых станций (МБС) на колесных шасси, контейнерного типа или размещения сооружений мобильной связи на прицепах [1]. Приводящаяся ниже методика размещения мобильной базовой станции решает проблему оптимизации пространственных координат, размещения азимутов секторов панельных антенн МБС для минимизации интерференции и максимизации спектральной эффективности.

II. Состав и архитектура оборудования МБС

Современная МБС представляет собой автономный аппаратно-программный комплекс, монтируемый на базе грузового шасси (например, КамАЗ, ГАЗель Next) или специализированного тяжелого прицепа. Комплекс включает в себя три ключевые подсистемы [1].

Базовая станция включает в себя блок обработки сигнала BBU(BaseBand Unit), удаленные радиомодули, подключенные фидерными линиями к панельным антеннам базовой станции.

Антенно-мачтовое устройство, представляющее собой телескопическую мачту с пневматическим или гидравлическим приводом, обеспечивающая высоту подвеса антенных систем на высоту от 15 до 40 метров.

Транспортная подсистема подразумевает под собой высокоскоростной канал для связи с опорной сетью, обычно такой канал формируется путем использования радиорелейного оборудования или использование низкоорбитальной спутниковой группировки на случай отсутствия прямой видимости для организации радиорелейного канала.

Система электропитания мобильной базовой станции включает в свой состав дизель-генераторной установки, которая соединена с системой автоматического ввода резерва, включающего в себя массив промышленных аккумуляторных батарей для автономной работы от 24 до 48 часов [1].

Также для нормальной работы базовой станции необходим климатический шкаф, включающий в себя прецизионный кондиционер для поддержания температурного режима оборудования при различных внешних температурах.

III. Процесс размещения мобильной базовой станции при проведении массового мероприятия

При проведении спортивно-массовых мероприятий размещение мобильной базовой станции требует учета особенностей архитектуры спортивного объекта, прогнозируемой плотности абонентов и распределения зрительских потоков на территории стадиона или спортивного комплекса. Наиболее рациональным местом размещения мобильного комплекса являются прилегающие парковочные зоны, технические площадки или служебные территории, расположенные в непосредственной близости от трибун. Выбор подобных площадок обусловлен возможностью обеспечения удобного подъезда для технического персонала, наличием свободного пространства для развертывания антенно-мачтового сооружения, а также возможностью организации охраны оборудования и подключения к источникам электропитания. Кроме того, размещение станции на парковочной территории позволяет минимизировать влияние металлоконструкций стадиона на распространение радиосигнала и обеспечить более эффективное покрытие зрительских зон [2].

После определения точки размещения осуществляется подключение мобильной базовой станции к основной линии электроснабжения с обязательным резервированием системы питания за счет дизель-генераторной установки и аккумуляторных батарей. Далее производится развертывание телескопической антенно-мачтовой конструкции, высота которой выбирается исходя из параметров спортивного объекта и требуемой зоны радиопокрытия [3]. В процессе монтажа особое внимание уделяется ориентации секторных панельных антенн. Основные сектора направляются в сторону трибун, фан-зон, входных групп, зон досмотра и других участков наибольшего скопления зрителей, где наблюдается максимальная концентрация мобильного трафика.

При необходимости отдельные сектора могут быть ориентированы на парковочные пространства и прилегающие пешеходные маршруты для обеспечения устойчивой связи в периоды массового прибытия и выхода посетителей со стадиона.

После установки антенно-фидерного оборудования выполняется настройка азимутов, механических и электрических углов наклона антенн с целью оптимизации зоны покрытия и минимизации внутрисетевых помех. Для обеспечения устойчивости мачтового сооружения используются системы многоярусных оттяжек и анкерных креплений. Заключительным этапом является интеграция мобильной базовой станции в транспортную инфраструктуру оператора связи посредством организации служебного канала передачи данных [3].

В условиях спортивных мероприятий наиболее эффективным способом подключения выступают радиорелейные линии связи, позволяющие обеспечить высокую пропускную способность и оперативное развертывание при наличии прямой видимости между мобильной и стационарной базовыми станциями.

IV. Заключение

Таким образом, применение мобильных базовых станций при проведении спортивно-массовых мероприятий является эффективным инструментом оперативного повышения емкости и расширения зоны покрытия сети подвижной радиосвязи в условиях кратковременного, но значительного роста абонентской нагрузки.

Проведенный анализ показал, что ключевыми факторами успешного развертывания мобильного комплекса являются рациональный выбор площадки размещения, корректная ориентация секторных антенн относительно зон концентрации пользователей, обеспечение бесперебойного электропитания, а также организация надежного транспортного канала связи с инфраструктурой оператора.

Список литературы

1. Оспанов Б.Т. Мобильная базовая станция на базе УРАЛ-5223 // Динамика развития системы военного образования: материалы VI Международной научно-практической конференции (Омск, 14 марта 2024 г.) / Омский государственный технический университет. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2024. – С. 748-751.

2. Нуградинов А.О. Совершенствование управления базовыми станциями операторов мобильной связи в условиях рынка // Научный лидер. – 2023. – №27(125). – С. 31-35.
3. Брусов Е.С., Преображенский А.П. Анализ излучения секторов базовых станций 5G // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2023. – Т. 17, №2. – С. 219-222.

Сведения об авторе:

Петриев Ярослав Александрович – студент.

УДК 622.515

КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОГО СООРУЖЕНИЯ В ВЫРАБОТКАХ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ

Тимова Н.В.

Проектное унитарное предприятие «Калийпроект», Солигорск, Беларусь

Ключевые слова: калийные соли, рассолопроявления, технические решения, водонепроницаемые переемы, специальные требования.

Аннотация. Разработка подземным способом месторождений водорастворимых солей сопряжена с рядом опасностей, таким как внезапные прорывы слабоминерализованных и пресных вод в подземные горные выработки. В связи с этим для горнодобывающих предприятий предусмотрены превентивные мероприятия по защите рудников от затопления. Актуальным для всех недропользователей остается вопрос по разработке типовых проектов эффективных гидроизоляционных (временных, постоянных) переемы для установки их в соляных породах.

CRITERIA FOR THE EFFECTIVENESS OF WATERPROOFING STRUCTURES IN POTASH MINES

Tsitova N.V.

Design unitary enterprise "Kaliyproekt", Soligorsk, Belarus

Keywords: potash salts, brines, applications technical solutions, waterproof seals, special requirements.

Abstract. Underground mining of water-soluble salt deposits involves several hazards, such as sudden inflows of low-mineralized and fresh water into underground workings. Consequently, preventive measures are mandated for mining enterprises to protect mines from flooding. The development of standardized designs for effective (temporary and permanent) water-tight bulkheads for installation in salt rocks remains a priority for all subsurface users.

Недропользователи, разрабатывающие соляные месторождения подземным способом, руководствуются основополагающими нормативными и правовыми документами Республики Беларусь. В части правового регулирования отношений «Кодексом Республики Беларусь о недрах» [1], в части безопасности производства работ «Правилами по обеспечению промышленной безопасности при разработке подземным способом месторождений каменных и калийных солей» [2] (далее – «Правила...»). В настоящее время промышленная эксплуатация подземным способом ведется на Старобинском и Петриковском месторождениях каменных и калийных солей.

При эксплуатации калийных рудников существует опасность проникновения слабоминерализованных и пресных вод в подземные горные выработки в зонах, приуроченных к тектоническим нарушениям, в местах геологических осложнений и литологической неоднородности отложений водозащитной толщи. Движение слабоминерализованных и пресных вод приводит к образованию каналов фильтрации и полостей, как вдоль горной выработки, так и вглубь массива, создавая каверны и дополнительные пустоты. Неконтролируемое поступление таких вод с большой долей вероятности может способствовать затоплению целых рудников [3]. Одним из способов предотвращения потенциальных опасностей, связанных с растворением солей и подтоплением рудника, является возведение гидроизоляционных сооружений в горных выработках на пути проникновения (прорыва) водо-, рассолопритоков.

Согласно нормам, установленным в «Правилах...» [2] в разделе VII «Предотвращение затопления горных выработок» предусмотрены обязательные требования для всех недропользователей. По которым на стадии проектирования, в проектной документации на возведение, реконструкцию и техническое перевооружение рудников должен быть представлен раздел «Меры защиты горных выработок от затопления», включающий мероприятия по обеспечению условий безопасного ведения горных работ. Главой 54 «Предотвращение и ликвидация водо-, рассолопроявлений» установлено, что каждый действующий рудник в течение всего срока эксплуатации должен быть обеспечен технической документацией на конструкцию и технологию сооружения гидроизоляционных переемы с учетом конкретных горно-

геологических и горно-технических условий, при этом должны храниться необходимое оборудование, аппаратура для борьбы с аварийными водо-, рассолопритоками.

Требование «Правил...» сформулировано исходя из позиций максимально быстрого устранения аварийной ситуации, поскольку правовое регулирование заключения договоров на поставку оборудования и материалов может занимать длительное время, которое разумнее тратить на непосредственные работы по устранению внезапного водопритока.

Анализ случаев эффективного подавления аварийных водопритоков показывает, что в условиях калийных и соляных рудников обязательным способом локализации прорывов является сооружение надежных (часто в несколько этапов) гидроизоляционных перемычек в сочетании с другими мерами защиты [4].

Установлено, что важными факторами среди основных критериев эффективности гидроизоляционного сооружения в подземных горных выработках калийных рудников являются:

1. Водо-, рассолонепроницаемость тела перемычки, которая может обеспечиваться монолитной конструкцией тела перемычки из безусадочного бетона.

2. Непроницаемость контактов тела перемычки с окружающими выработку породами (в кровле, боках, почве), которая может обеспечиваться путем использования обмазочных гидроизоляционных материалов, имеющих хорошую адгезию с соляными породами и бетоном на этапе строительства сооружения.

3. Непроницаемость пород в приконтактных зонах вокруг перемычки, которая может обеспечиваться тампонажем соляных пород на глубину зоны повышенной фильтрации пород по всему периметру перемычки раствором на основе особо тонкодисперсных вяжущих для укрепления грунтов и горных пород.

4. Непроницаемость соединительных и запорных устройств, проходных отверстий, арматуры, которая может быть получена путем использования материалов, рассчитанных на проектное давление водопритока.

5. Возможность проверки герметичности сооружения до ввода в эксплуатацию путем опрессовки сжатым воздухом контакта «бетон-порода».

6. Возможность контролировать параметры функционирования сооружения при эксплуатации путем доступа к основным элементам.

Все проектные организации на стадии проектирования рудника при разработке проектов типовых гидроизоляционных перемычек должны учитывать одновременно все вышеизложенные критерии эффективности сооружения для быстрого возведения в аварийных ситуациях, надежной и длительной эксплуатации в выработках калийных рудников.

Список литературы

1. Кодекс Республики Беларусь о недрах: 14 июля 2008 г. № 406-З; принят Палатой представителей 10 июня 2008 г.: одобр. Советом Республики 20 июня 2008 г. // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=11031&p0=hk0800406>
2. Правила по обеспечению промышленной безопасности при разработке подземным способом месторождений каменных и калийных солей: утв. Постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь 14 декабря 2023 г. – Минск, 2024. – 80 с.
3. Зубов В.П., Смычник А.Д. Снижение рисков затопления калийных рудников при прорывах в горные выработки подземных вод // Записки Горного института. – 2015. – Т. 215. – С. 29-37.
4. Смычник А.Д., Шемет С.Ф., Гречко А.М., Шутин С.Г., Кологривко А.А. Новые способы защиты от рудничных водопритоков с помощью гидроизоляционных перемычек // Горная механика и машиностроение. – 2010. – №3. – С. 41-45.

Сведения об авторе:

Титова Наталья Владимировна – соискатель, ведущий инженер горной лаборатории научно-исследовательского отдела технологии горных работ.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КАРОТАЖНЫХ ДИАГРАММ МЕТОДОМ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Сайфуллина А.Р., Галиуллина Е.П.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, каротажные диаграммы, геофизические исследования скважин, система поддержки принятия решений, фильтрация, интерпретация, сигнал.

Аннотация. В статье рассматривается алгоритм обработки каротажных диаграмм с применением вейвлет-преобразования для предварительной интерпретации данных геофизических исследований скважин. Описаны этапы загрузки и подготовки данных, вейвлет-фильтрации, выделения литологических, пористостных и флюидных признаков. Предложенный подход позволяет комплексно анализировать гамма-каротаж, нейтронный и боковой каротаж для определения потенциально нефтепродуктивных интервалов. Результаты алгоритма могут использоваться в системе поддержки принятия решений и требуют последующей проверки по керну и данным испытаний пластов.

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR PROCESSING LOGGING DIAGRAMS BY THE WAVELET TRANSFORM METHOD FOR THE ORGANIZATION OF A DECISION SUPPORT SYSTEM

Saifullina A.R., Galiullina E.P.

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa

Keywords: wavelet transform, logging diagrams, well geophysical studies, decision support system, filtering, interpretation, signal.

Abstract. The article discusses an algorithm for processing logging diagrams using wavelet transformation for preliminary interpretation of well logging data. The stages of data loading and preparation, wavelet filtering, and extraction of lithological, porosity, and fluid features are described. The proposed approach allows for a comprehensive analysis of gamma, neutron, and lateral logging to identify potentially oil-bearing intervals. The results of the algorithm can be used in a decision support system and require subsequent verification using core and drilling data.

В рамках исследования был разработан алгоритм обработки каротажных диаграмм с применением вейвлет-преобразования, ориентированный на использование в системе поддержки принятия решений при предварительной интерпретации данных геофизических исследований скважин. Предлагаемый подход основан на последовательной обработке каротажных кривых, их фильтрации, выделении диагностических признаков и комплексной оценке интервалов разреза по совокупности геофизических параметров.

На начальном этапе в систему загружаются исходные данные, представленные в виде глубинных зависимостей гамма-каротажа, нейтронного каротажа и бокового каротажа. Перед дальнейшей обработкой выполняется проверка структуры входного массива, исключаются некорректные и пропущенные значения, а данные приводятся к виду, пригодному для численного анализа. Это позволяет обеспечить корректность последующих вычислений и сопоставимость результатов по различным видам каротажа.

Далее для каждой каротажной кривой задаются параметры вейвлет-анализа: тип материнского вейвлета, уровень разложения и коэффициент пороговой фильтрации. После этого сигнал подвергается дискретному вейвлет-преобразованию, в результате которого он разделяется на низкочастотную аппроксимирующую составляющую и набор детализирующих коэффициентов. Такое представление позволяет рассматривать каротажный сигнал не только как функцию глубины, но и как совокупность составляющих различного масштаба [1].

Следующим этапом является подавление шумовой составляющей. Для этого к детализирующим коэффициентам применяется пороговая обработка: малые по амплитуде коэффициенты, связанные преимущественно со случайными колебаниями и помехами, уменьшаются или обнуляются, тогда как более значимые компоненты сигнала сохраняются. Затем выполняется обратное вейвлет-преобразование, в результате чего формируется сглаженная

каротажная кривая, сохраняющая основные геологически значимые особенности исходного сигнала [2].

На рисунке 1 изображен результат работы вейвлет-преобразования.

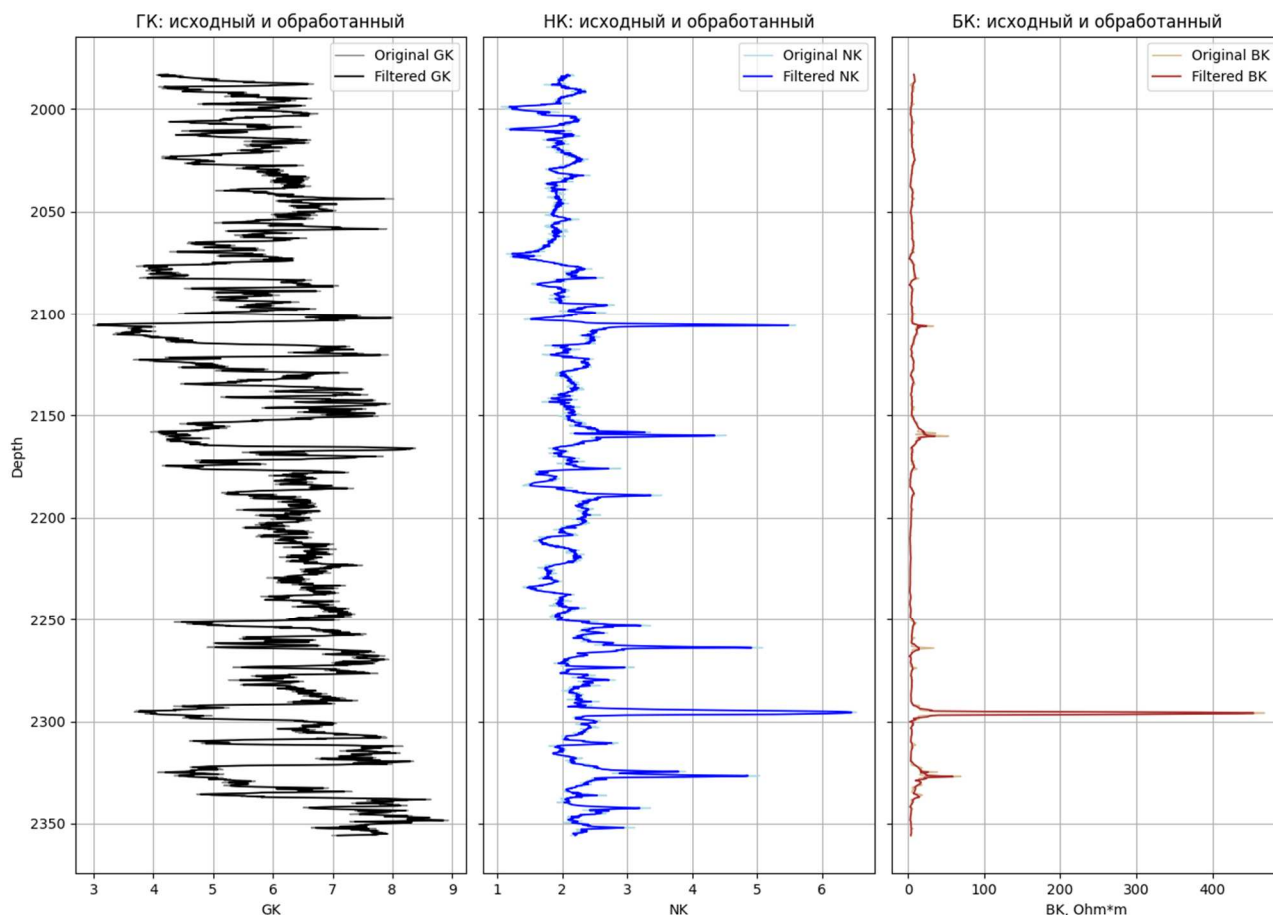


Рис. 1. Исходные и обработанные вейвлетом Добеши данные гамма-каротажа, нейтронного каротажа и бокового каротажа

После получения обработанных кривых выполняется интерпретационный анализ. По данным гамма-каротажа производится предварительное разделение интервалов на песчаные, глинистые и переходные зоны. Нейтронный каротаж используется для выделения участков с различным уровнем относительной пористости. По данным бокового каротажа выполняется предварительная оценка характера насыщения пород флюидом. При этом анализ проводится как для исходных данных, так и для кривых, прошедших вейвлет-фильтрацию, что позволяет оценить влияние обработки на устойчивость интерпретационных признаков.

На завершающем этапе результаты по различным видам каротажа объединяются в едином глубинном разрезе. Интервал рассматривается как потенциально нефтепродуктивный при одновременном выполнении нескольких условий: он должен соответствовать песчанику или переходной зоне, обладать средней либо высокой относительной пористостью и характеризоваться признаками нефтенасыщения по данным электрического каротажа. Такой комплексный критерий позволяет снизить риск ошибочной интерпретации, связанной с анализом только одной каротажной кривой [3].

Итогом работы алгоритма является формирование таблиц и графических материалов, содержащих исходные и обработанные каротажные кривые, результаты классификации интервалов, параметры обработки и выделенные потенциально продуктивные зоны. На рисунке 2 представлена визуализация того, на какой глубине находятся нефтенасыщенные пласты.

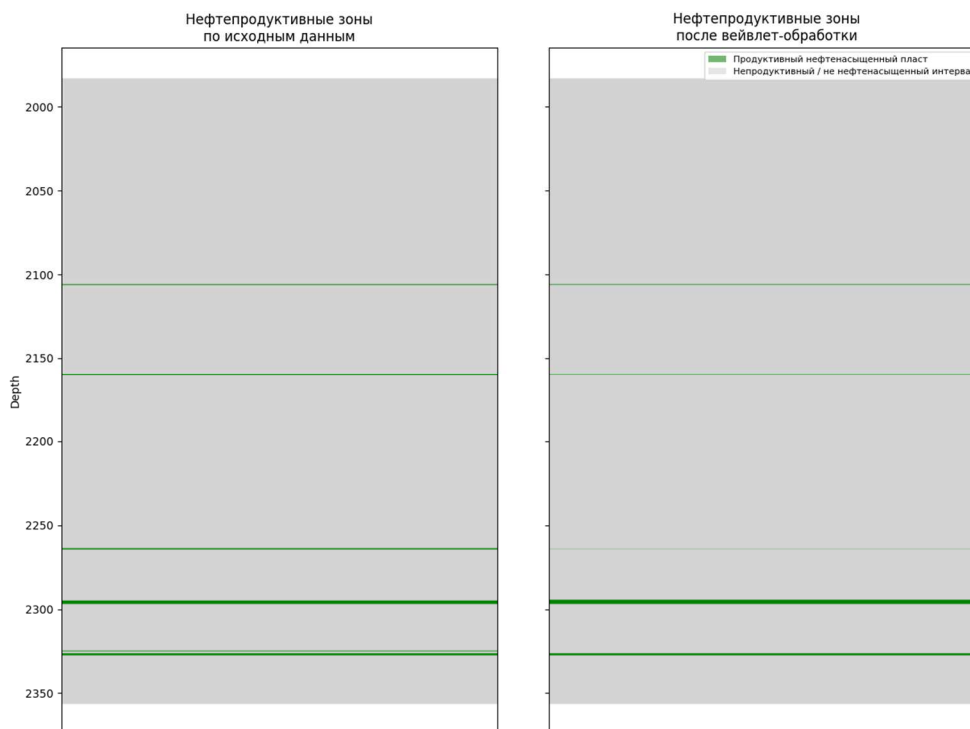


Рис. 2. Нефтепродуктивные зоны по исходным данным и по данным после вейвлет-обработки

Полученные данные могут использоваться как информационная основа для системы поддержки принятия решений при предварительной оценке перспективности пластов. При этом результаты автоматизированной обработки следует рассматривать как предварительные и требующие последующего сопоставления с керновыми данными, результатами испытаний пластов и экспертной геологической интерпретацией.

Список литературы

1. Шумилов А.В., Заичкин Е.В. Сжатие многомерных данных геофизических методов исследования скважин на основе вейвлет-преобразования // Геофизика. – 2014. – Вып. 4. – С. 46-53.
2. Бурнаев Е.В. Применение вейвлет преобразования для анализа сигналов: Учебно-методическое пособие. – М.: МФТИ, 2007. – 138 с.
3. Латышова М.Г., Мартынов В.Г., Соколова Т.Ф. Практическое руководство по интерпретации данных ГИС: Учебное пособие для вузов – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. – 327 с.

Сведения об авторах:

Сайфуллина Аделина Рустамовна – студент;

Галиуллина Елена Павловна – старший преподаватель.

УДК 535.241.6.

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЖИДКИХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Сидорова А.П., Лыков Г.П., Ермолаев А.Н.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа

Ключевые слова: жидкие дисперсные системы, фотометрия, турбидиметрия, нефелометрия, концентратомер, метрологическая надёжность.

Аннотация. Рассматриваются современные подходы к измерению концентрации взвешенных частиц в жидких дисперсных системах с применением фотометрических методов. Анализируются принципы работы турбидиметров и нефелометров, их сравнительные характеристики, а также способы повышения метрологической надёжности при эксплуатации в жёстких промышленных условиях. Приводятся методы обнаружения фрагментов нефти с применением фотодатчиков и фоторезисторов в качестве устройств верификации нефелометрического метода.

PHOTOMETRIC METHODS FOR MEASURING THE STATE OF LIQUID DISPERSED SYSTEMS

Sidorova A.P., Lykov G.P., Ermolaev A.N.

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa

Keywords: liquid dispersed systems, photometry, turbidimetry, nephelometry, concentration meter, metrological reliability.

Abstract. This article examines modern approaches to measuring suspended particle concentrations in liquid dispersed systems using photometric methods. It analyzes the operating principles of turbidimeters and nephelometers, compares their characteristics, and explores ways to improve metrological reliability when used in harsh industrial environments. Methods for detecting oil fragments using photodetectors and photoresistors as nephelometric verification devices are presented.

Введение

Жидкие дисперсные системы (ЖДС) – эмульсии, суспензии, коллоидные растворы – широко распространены в природе и промышленности. Контроль концентрации взвешенных частиц (дисперсной фазы) является критически важным для управления технологическими процессами в нефтяной, пищевой, химической и водоочистительной отраслях, а также для решения задач экологического мониторинга.

Полевые (промышленные) измерения концентрации ЖДС принципиально отличаются от лабораторных: первичный преобразователь должен функционировать непрерывно в условиях агрессивных сред, высоких давлений, абразивного воздействия частиц и изменяющегося гранулометрического состава. При этом доступ к датчикам для обслуживания нередко затруднён или полностью исключён. Именно поэтому метрологическая надёжность — способность средства измерений сохранять нормированные характеристики на протяжении длительного периода эксплуатации без обслуживания – идет на первый план.

Среди многочисленных физических принципов измерения концентрации ЖДС – акустических, электрометрических, радиоактивных, СВЧ – фотометрические методы занимают особое место благодаря высокому соотношению «точность/стоимость», широким возможностям построения инвариантных многоканальных схем и хорошей адаптируемости к конкретным условиям применения.

Классификация фотометрических концентратометров

Существует три основных типа фотометрических концентратометров:

- турбидиметры;
- нефелометры;
- флуориметры.

Турбидиметрия

Это количественный метод анализа, основанный на измерении интенсивности света, проходящего через мутную суспензию или коллоидный раствор. Прибор (турбидиметр) измеряет степень поглощения света взвешенными частицами, что позволяет определить их концентрацию.

Метод широко применяется в медицине (иммунологические реакции), химии и для контроля качества воды.

Преимущества и ограничения

– Плюсы: Быстрота выполнения, высокая точность для мутных сред, возможность автоматизации (биохимические анализаторы).

– Минусы: Метод менее точен для прозрачных или маломутных растворов, чувствителен к размеру частиц.

Нефелометрия

Данный метод основан на измерении освещенности фотоприемником, расположенным под углом к оси излучения и воспринимает рассеянное излучение.

Преимущества нефелометрии включают:

1. Высокая чувствительность: Способность обнаруживать даже небольшие концентрации частиц.

2. Непосредственное измерение: позволяет получать данные в реальном времени.

3. Минимальное вмешательство: не требует сложной подготовки образцов или добавления реагентов.

Метод может иметь и некоторые ограничения, такие как влияние на результаты различных свойств частиц (размер, форма, состав) и необходимость калибровки для обеспечения точности. Тем не менее, нефелометрия остается одним из основных инструментов для анализа мутности и концентрации частиц в жидкостях.

Флуориметрия: Метод, который основан на измерении свечения (флуоресценции) веществ в растворе. Этот метод очень чувствителен и позволяет обнаруживать даже очень малые концентрации веществ.

В жидкость с веществом, которое умеет светиться (флуорофором), посылается возбуждающий свет (обычно ультрафиолет или видимый).

Некоторые молекулы в веществе поглощают этот свет и переходят в возбужденное состояние.

Когда молекулы возвращаются в исходное состояние, они излучают свет другого, более длинного волнового диапазона – это и есть флуоресценция.

Флуориметр регистрирует интенсивность этого свечения, которая прямо зависит от концентрации вещества.

Основные элементы флуориметра:

– источник возбуждающего света (лампа или лазер);

– монохроматор – для выбора нужной длины волны;

– облучающая ячейка – там помещается образец;

– детектор – измеряет силу свечения.

Благодаря высокой чувствительности, флуориметры используют для обнаружения очень малых количеств веществ.

Влияющие факторы и проблема метрологической надёжности:

Практика эксплуатации фотометрических концентратометров в промышленных условиях показывает, что реальный интервал необслуживаемой работы для большинства устройств составляет 0,5-2 месяца, тогда как нормативные требования предписывают межповерочный интервал не менее 3 месяцев. Столь значительный разрыв обусловлен рядом систематически действующих дестабилизирующих факторов.

Главным фактором является загрязнение прозрачных окон излучателей и фотоприёмников в результате отложения частиц дисперсной фазы, осаждения солей и вязких углеводородных фракций. Этот эффект особенно выражен при работе с нефтяными эмульсиями: слой асфальтосмолистых отложений толщиной уже около 0,1 мм способен кратно снизить интенсивность проходящего излучения. Вторым по значимости фактором выступает изменение дисперсного состава взвешенных частиц: при постоянной массовой концентрации сдвиг среднего размера частиц существенно меняет картину рассеяния и, следовательно, показания прибора. Дополнительный вклад вносят: нестабильность яркости излучателей, изменение физико-химических свойств дисперсионной среды, вариации давления и температуры.

Для борьбы с указанными факторами применяются три принципиально различных подхода. Первый – непосредственное устранение влияния: механическая, ультразвуковая или гидравлическая очистка окон оптических элементов, термостатирование датчика, применение покрытий, препятствующих адгезии дисперсной фазы. Второй – обеспечение инвариантности измерений: построение многоканальных схем, результат которых не зависит от конкретного дестабилизирующего фактора. Третий – структурная избыточность: дублирование и резервирование датчиков, интеллектуальные алгоритмы обнаружения и компенсации отказов.

Список литературы

1. Фетисов В.С. Фотометрические полевые средства измерений концентрации жидких дисперсных систем. – Уфа: УГАТУ, 2005. – 233 с.
2. ISO 7027:1999. Water quality – Determination of turbidity. – International Organization for Standardization, 1999. – 10 p.
3. ГОСТ 29024-91. Анализаторы жидкости турбидиметрические и нефелометрические. Общие технические требования и методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1991.
4. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. – М.: Мир, 1981. – Т. 1. – 280 с.
5. Петров Б.Н., Викторov В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С. Принцип инвариантности в измерительной технике. – М.: Наука, 1976. – 240 с.
6. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001. – 382 с.
7. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 278 с.
8. Беляков В.Л. Автоматический контроль параметров нефтяных эмульсий. – М.: Недра, 1992. – 204 с.

Сведения об авторах:

Сидорова Анастасия Павловна – магистрант;

Лыков Георгий Павлович – аспирант;

Ермолаев Андрей Никитович – научный руководитель, кандидат технических наук, доцент.

О КРИТЕРИЯХ КАЧЕСТВА ОЦЕНЩИКА СРЕДНЕГО УРОВНЯ ЭНЕРГИИ ШУМА В РАДИОКАНАЛЕ

Иванов А.В.

*Омский государственный технический университет;
АО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения», Омск*

Ключевые слова: критерии качества, оценка шума, средняя энергия шума, идеальный критерий качества, качество оценщика энергии шума, интерпретируемый критерий качества, сопоставимость оценок.

Аннотация. В данной работе рассматриваются два основных способа оценки качества оценщика уровня средней энергии шума. Далее рассматриваются особенности, которыми должен обладать идеальный критерий качества. Предлагаются два новых критерия качества. Производится выбор лучшего критерия качества для его дальнейшего использования в работах, перечисляются преимущества лучшего критерия.

ON QUALITY CRITERIA FOR AN ESTIMATOR OF THE MEAN NOISE ENERGY LEVEL IN A RADIO CHANNEL

Ivanov A.V.

*Omsk State Technical University;
JSC «Omsk Scientific-Research Institute of Instrument Engineering», Omsk*

Keywords: quality criteria, noise estimation, mean noise energy, ideal quality criterion, radio channel, quality of the noise energy estimator, interpretable quality criterion, comparability of estimates.

Abstract. This paper examines two primary methods for evaluating the quality of a mean noise energy estimator. It further discusses the essential properties that an ideal quality criterion should possess. Two novel quality criteria are proposed. The most suitable criterion is selected for future research and applications, and its key advantages are outlined.

В системах радиосвязи существуют задачи обнаружения и различения радиосигналов. Исследования показывают, что наибольшая энергетическая эффективность демодуляции достигается при использовании систем с отдельными блоками анализа для различных процессов в радиоканале [1]. Одним из таких блоков является оценщик среднего уровня энергии шума. Следует уточнить, что в работе рассматриваются критерии качества применимые для оценщиков среднего уровня энергии АБГШ, однако данные критерии качества могут быть, с некоторыми ограничениями, применены к блокам оценки других процессов.

Одним из распространённых способов определения качества оценщика среднего уровня энергии шума является визуальная оценка гистограммы плотности распределения результатов работы оценщика. Построение такой характеристики происходит с помощью моделирования работы оценщика или снятия показаний с оценщика, работающего в реальных условиях. Опытный инженер-радиотехник, зная параметры проектируемого модема и имея гистограмму, может приблизительно понять, является ли оценщик среднего уровня энергии шума применимым для решения поставленной задачи или есть необходимость в его замене. Рассмотренный выше способ оценки качества имеет несколько недостатков. К первому, основному, недостатку следует отнести сложность верификации результатов оценки качества. Подтвердить правильность результата может другой опытный специалист с помощью визуальной оценки и информации о параметрах модема, верификация также возможна путём итеративных расчётов по эмпирическим формулам, что требует затрат времени специалиста. Проверка качества оценщика человеком, не участвующим непосредственно в разработке модемов, крайне затруднительна. Вторым недостатком является отсутствие единой численной оценки качества, что затрудняет сравнение оценщиков между собой.

Вторым распространённым способом определения качества оценщика уровня средней энергии шума является полноценный критерий качества – дисперсия, рассчитываемая по результатам работы оценщика. В отличие от первого способа критерий, имеющий единственное численное значение позволяет проводить прямое сравнение двух оценщиков. К недостаткам использования дисперсии как критерия качества следует отнести невозможность её использования для верификации качества оценщика человеком, не имеющим опыта в

проектировании модемов, что затрудняет оценку качества. У рассмотренного критерия качества есть ещё один недостаток – низкие значения дисперсии не гарантируют качество работы оценщика. Например, функция плотности распределения результатов работы оценщика (оценок) может иметь асимметрию, то есть смещение от центрального значения в одну из сторон. В законе плотности распределения оценок могут присутствовать и другие искажения, которые приводят к росту дисперсии, однако их обнаружение по одной дисперсии, на практике, крайне затруднительно. К таким искажениям в функции плотности распределения оценок можно отнести низкие значения по центру и высокие значения по краям. Рассмотренные выше проблемы решаемы созданием комбинированного критерия, в котором используются расчёты 4-х численных параметров: разности между истинным средним значением и математическим ожиданием, дисперсии, коэффициента скоса и коэффициента эксцесса. Однако в таком случае возникают проблемы присущие первому способу оценки, а именно отсутствию единого численного значения в критерии качества и сложности использования критерия качества человеку, не имеющему опыта в проектировании модемов.

Рассмотрев два наиболее часто используемых способа оценки качества оценщика и рассмотрев их основные недостатки, предлагается ознакомиться с особенностями, которыми должен обладать идеальный критерий. Перед выбором критерия стоит уточнить, какими особенностями должен обладать критерий.

Идеальный критерий должен обладать такими особенностями как: интерпретируемость, понятность (легко воспринимается не экспертом), сопоставимость (позволяет сравнивать системы), надёжность (измерения стабильны и точны), устойчивость к манипуляциям, фокус на аномалиях [2-6]. Следует уточнить, что некоторые рассмотренные особенности идеального критерия могут не иметь научной строгости в определении [2], что является фундаментальной проблемой поиска идеальных критериев.

В данной работе предлагаются два новых критерия, которые являются наиболее близкими к описанию идеального критерия.

Первым критерием является численное значение вероятности нахождения результата, полученного оценщиком в указанном интервале. Однако у данного критерия есть недостаток – сложность сравнения результатов, полученных для различных интервалов. Если указать фиксированный интервал, то при оценке сильно отличающихся систем вероятности нахождения в интервале могут быть очень близки к 0 или 1.

Для решения данной проблемы предлагается второй критерий. Численным значением второго критерия является размах интервала – разность между правой и левой границей интервала в дБ, для фиксированной вероятности попадания оценок в интервал. Следует уточнить, что расчёт такого критерия может требовать на несколько порядков больше вычислительных ресурсов, чем для других рассмотренных критериев. Далее будет описан способ получения численного значения по второму критерию. Для оценщика среднего уровня энергии шума создаётся модель канала или среды, в которой установленная средняя энергия шума известна и фиксирована, например, 0 дБ, к 1 Вт. Проводят N запусков оценщика и хранят результаты оценок, N влияет на точность численного значения критерия. В начале выбирается вероятность, для которой необходимо искать размах интервала, например, 99% значений должны попасть в размах интервала. Далее указывается начальный размах интервала, например, 6 дБ, что при установленном среднем уровне энергии шума в 0 дБ будет соответствовать интервалу, от -3 дБ до +3 дБ. Далее происходит проверка, попадает ли в указанный интервал ровно 99% значений, если нет, то размах интервала меняется в большую или меньшую из сторон, чтобы уменьшить ошибку между требуемой вероятностью 99% и текущей вероятностью попадания в интервал. Так если вероятность превышает заданную, то размах необходимо уменьшить и наоборот. На каждой итерации шаг изменения интервала постепенно уменьшается. В результате, для нахождения численного значения по второму критерию, необходимо решить задачу минимизации ошибки.

Второй критерий является интуитивно понятным для человека знакомого с общеобразовательным курсом теории вероятности и изучившего единицы измерения дБ. Критерий сильно реагирует на выбросы, так если при требуемой вероятностью 99% в выборке 1,1% значений – выбросы, численное значение по второму критерию может измениться на порядки, что делает практически невозможным пропуск выбросов. Критерий обладает

сопоставимостью – возможностью напрямую сравнивать численные оценки, полученные по второму критерию. При высоких N второй критерий становится надёжным и точным. Из вышеперечисленных данных следует заключение, что второй критерий пригоден для использования и имеет преимущества над распространёнными способами оценки. Первый критерий имеет ограниченное применение и больше подходит для предварительного анализа оценщиков.

Список литературы

1. Ворошилов В.В., Иванов А.В., Романов Ю.В. Помехоустойчивость модифицированных алгоритмов демодуляции дискретных частотных сигналов в канале с АБГШ и сосредоточенными помехами // Техника радиосвязи. – 2025. – Вып. 2 (65). – С. 7-22.
2. Doshi-Velez F., Kim B. Towards A Rigorous Science of Interpretable Machine Learning [Электронный ресурс] // arXiv preprint arXiv:1702.08608v2 [stat.ML]. – 2017. – URL: <https://arxiv.org/abs/1702.08608>.
3. Miller T. Explanation in Artificial Intelligence: Insights from the Social Sciences // Artificial Intelligence. 2019, vol. 267, pp. 1-38.
4. Goel P., Weber R. Measuring Interpretability: A systematic literature review of interpretability measures in artificial intelligence // Proceedings of the International FLAIRS Conference. 2025, vol. 38, no. 1.
5. Zhou Y., Shah J. The Solvability of Interpretability Evaluation Metrics // Findings of the Association for Computational Linguistics: EACL. 2023, pp. 2399-2415.
6. Manheim D. Building less-flawed metrics: Understanding and creating better measurement and incentive systems // Patterns. 2023, vol. 4, no. 10, p. 100842.

Сведения об авторе:

Иванов Арсений Витальевич – аспирант.

УДК 678.743.41:620.178.162

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И УГЛЕРОДНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ПРИ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Исакова Т.А., Петрова П.Н., Маркова М.А.

Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск

Ключевые слова: политетрафторэтилен, полимерные композиционные материалы, триботехнические свойства, низкотемпературные испытания, коэффициент трения, износостойкость.

Аннотация. Исследованы триботехнические свойства полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена с добавлением 5 мас.% углеродных нановолокон УНВ-02 и углеродных микроволокон марки УВИС-АК-П при низкой температуре в камере тепла-холода «КТХ-150» (ООО «Технология», Россия). Показано, что при минус 30°C скорость массового изнашивания уменьшается для исходного политетрафторэтилена в 4,5 раза, для композитов с УНВ-02 в 1,4-1,7 раза, с УВИС-АК-П в 1,5 раза. Коэффициент трения немного повышается у всех композитов за исключением исходного политетрафторэтилена. Увеличение износостойкости объясняется снижением сегментной подвижности макромолекул и повышением твердости полимерной матрицы.

INVESTIGATION OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES BASED ON POLYTETRAFLUOROETHYLENE AND CARBON FILLERS AT LOW TEMPERATURE

Isakova T.A., Petrova P.N., Markova M.A.

Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Yakutsk

Keywords: polytetrafluoroethylene, polymer composite materials, tribological properties, low-temperature tests, friction coefficient, wear resistance.

Abstract. The tribological properties of polymer composite materials based on polytetrafluoroethylene with the addition of 5 wt.% of UNV-02 carbon nanofibers and UVIS-AK-P carbon microfibers were studied at low temperature in a KTX-150 heat-cold chamber (Tekhnologiya, Russia). It was shown that at minus 30°C, the mass wear rate decreases for the original polytetrafluoroethylene by 4.5 times, for composites with UNV-02 by 1.4-1.7 times, and with UVIS-AK-P by 1.5 times. The friction coefficient slightly increases for all composites except for the original polytetrafluoroethylene. The increase in wear resistance is explained by a decrease in the segmental mobility of macromolecules and an increase in the hardness of the polymer matrix.

При разработках триботехнических полимерных композиционных материалов (ПКМ), предназначенных для эксплуатации в экстремальных климатических условиях северных и арктических регионов России, актуальной задачей является изучение процессов трения ПКМ не только при комнатной температуре, но также, и при низких температурах. Многочисленные исследования подтверждают высокую эффективность ПКМ на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) для повышения надежности узлов трения благодаря уникальным свойствам ПТФЭ и различных наполнителей [1-3]. В данной работе наполнителями для полимерной матрицы были выбраны углеродные нановолокна УНВ-02 и микроволокна УВИС-АК-П. Композиты получали с помощью двух технологических приёмов: смешением в лопастном смесителе (технология №1) и с применением совместной механоактивации половины полимера с наполнителем в планетарной мельнице (технология №2). Образцы получали по стандартной методике переработки полимеров на основе ПТФЭ.

В таблице 1 приведены результаты триботехнических исследований ПТФЭ и ПКМ при комнатной температуре (+21-23°C) и температуре минус 30°C. Перед началом испытания проводили приработку ПКМ до формирования фактической площади контакта, составляющей не менее 2/3 номинальной площади контакта образца с контртелом. Далее взвешивали образцы, данную массу образцов принимали как начальную.

Как видно из таблицы 1, при низкотемпературном испытании скорость массового изнашивания снизилась у ПТФЭ в 4,5 раза, у композитов с УНВ-02 в 1,4-1,7 раза, у композита с УВИС-АК-П в 1,5 раза. Коэффициент трения немного повысился у всех ПКМ, за исключением исходной полимерной матрицы. Повышение коэффициента трения ПКМ связано с постепенным

замедлением сегментной подвижности макромолекул, которое приводит к снижению деформации поверхностного слоя ПКМ и расширению областей упругих и упругоэластических деформаций при фрикционном взаимодействии с металлическим контртелом.

Табл. 1. Зависимость триботехнических показателей ПТФЭ и ПКМ на его основе от температуры окружающей среды на экспериментальной установке «Трибометр-1»

№	Состав	Условия трения	Комнатная температура (+21-23°C)		Минус 30°C	
			I , мг/ч	f	I , мг/ч	f
1	ПТФЭ	Нагрузка –160 Н, скорость скольжения – 0,2 м/с, время трения – 3 ч	212	0,21	47,59	0,15
2	ПТФЭ+5мас.% УНВ-02 технология №1		3,79	0,21	2,17	0,22
3	ПТФЭ+5мас.% УНВ-02 технология №2		3,17	0,21	2,33	0,22
4	ПТФЭ+5мас.% УВИС-АК-П технология №2		1,40	0,14	0,95	0,20

Примечание: I – скорость массового изнашивания, мг/ч; f – коэффициент трения.

На рисунке 1 представлены графики изменений температуры в поверхностном слое ПКМ в процессе трения на расстоянии от поверхности трения 1 мм, 2,5 мм и 4 мм в зависимости от температуры окружающей среды.

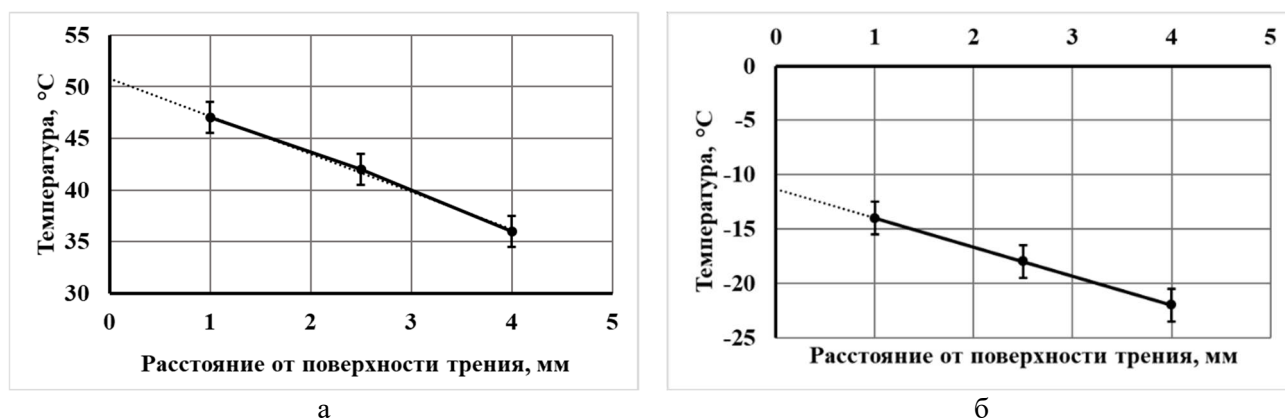


Рис. 1. Зависимость температуры в зоне контакта от расстояния от поверхности трения:
а) при комнатной температуре; б) при минус 30°C

Анализ температурного поля в образцах ПКМ выявил линейную зависимость температуры от расстояния до термопары. Экстраполяция по линейной модели позволила определить температуру на поверхности контакта сопрягаемых элементов металлополимерной трибосистемы. При начальной температуре камеры (минус 30°C) стационарный режим трения устанавливается за 10 мин с температурой в контактной зоне минус 11,3°C. При комнатной температуре переход к стабильному температурному режиму занимает 35 мин с достижением +51,4°C в зоне контакта. Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что процесс трения ПКМ при отрицательной температуре в камере переходит на стационарный режим быстрее по сравнению с процессом трения в помещении при комнатной температуре.

Список литературы

1. Машков Ю.К., Байбарацкая М.Ю., Кургузова О.А. Влияние условий эксплуатации на износостойкость нанокompозитов на основе политетрафторэтилена // Наука и военная безопасность. – 2021. – Т. 2(25). – С. 78-83.

2. Васильев А.П., Охлопкова А.А., Стручкова Т.С., Алексеев А.Г. Влияние модифицированного серицита на свойства и структуру политетрафторэтилена // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2020. – Т. 25, №2. – С. 147–156. – doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-2-12.
3. Miao Y., Chen Q., Li Y., Zhuo D., Wang R. Tribological properties of carbon nanotube/polymer composites: A mini-review // Frontiers in Materials. 2023, vol. 10, p. 1129676. doi.org/10.3389/fmats.2023.1129676.

Сведения об авторах:

Исакова Татьяна Александровна – инженер-исследователь лаборатории Материаловедения;
Маркова Марфа Алексеевна – к.т.н., научный сотрудник лаборатории Материаловедения;
Петрова Павлина Николаевна – к.т.н., зав. лабораторией Материаловедения.

АНАЛИЗ ВИДОВ ПРОГРАММНЫХ ПАКЕТОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ

Гиззатуллина О.И., Орлов Г.А.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
Екатеринбург*

Ключевые слова: холодная прокатка труб, маршрут, калибры, 3D-моделирование, математическое моделирование.
Аннотация. Работа посвящена анализу имеющихся в настоящее время видов программных пакетов для моделирования маршрутов холодной прокатки труб и расчета калибровок. В результате были выявлены 3D-моделирование и математическое моделирование, как способы анализа технологического процесса производства труб на станах ХПТ, выявлены их существенные преимущества.

ANALYSIS OF SOFTWARE PACKAGES FOR MODELING COLD ROLLING PIPES ROUTES

Gizzatullina O.I., Orlov G.A.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg

Keywords: cold rolling of pipes, route, roll passes, 3D modeling, mathematical modeling.

Abstract. The work is devoted to the analysis of currently available software packages for modeling cold rolling of pipes routes and calculating roll pass designs. As a result, 3D modeling and mathematical modeling were identified as methods for analyzing the technological process of pipes production on cold rolling mills, and their significant advantages were highlighted.

Введение. Условия современного высокотехнологичного общества, оказывают большое влияние на развитие области машиностроения, атомной энергетики, самолетостроения, вследствие чего возрастают требования к машинам, вспомогательным агрегатам и соответственно и к материалам и способам их изготовления [1].

Это относится и к трубам, используемым в проектировании и изготовлении различных машин и установок.

В связи с развитием нефте- и газодобывающих отраслей промышленности наибольшую долю в выпуске труб составляют трубы нефтяного сортамента и газопроводные.

Увеличивающийся спрос на производство трубной продукции, порождает и рост требований к ее производству и агрегатам, которые их выпускают.

Данные тенденции приводят к необходимости модернизации трубных производств, реконструкции старых цехов и внедрения нового более технологически эффективного оборудования. Вследствие чего эти изменения потребуют актуализации подбора технологических маршрутов, следовательно, и перерасчета калибровок инструмента.

Операции технологического цикла могут выполняться по различным, в ряде случаев альтернативным, маршрутам и находятся в тесной зависимости от сортамента продукции, парка инструмента и состава оборудования цеха. На производстве поиск оптимальных вариантов технологии затрудняется из-за необходимости работы с большими массивами исходных данных, включающих сортамент заготовки и выпускаемой продукции, техническую характеристику оборудования, действующие технологические схемы, режимы обработки и др [2].

Внедрение автоматизированной подготовки производства является одним из важных направлений развития современной промышленности.

Основная часть. Станы холодной прокатки труб (далее-ХПТ), широко используемые в производстве, зарекомендовали себя благодаря благоприятной, с точки зрения использования пластичности металла, схемой напряженного состояния, что позволяет достигать больших степеней деформаций без разрушения металла и осуществлять производство тонкостенных труб с большими коэффициентами вытяжки. Технология производства труб на станах ХПТ включает в себя комплекс взаимосвязанных между собой процессов, среди которых термическая и химическая обработка, обработка резаньем, контроль качества и механические испытания,

необходимые для достижения требуемых качественных характеристик готовой продукции. Выбор конкретных технологических схем определяется требованиями к качеству.

Модернизация и реконструкция, которая периодически необходима на производстве, как правило, направлена на увеличение показателей качества выпускаемой продукции и экономии ресурсов необходимых для производства. Для достижения этих параметров целесообразна разработка и внедрение производственных процессов, не допускающих случайных отклонений от заданных исходных данных для изготовления продукта.

В целях создания и анализа технологических маршрутов наиболее удобным методом является применение программных пакетов, которые позволяют достаточно быстро и без лишних трудозатрат произвести расчет. При использовании данных пакетов достаточно только задать исходные данные для получения желаемого результата, при этом корректировка получаемых результатов тоже не требует больших усилий.

Теоретические основы метода холодной прокатки на станах ХПТ разработаны достаточно полно, что создает основу для оценки физических и энергетических параметров процесса [3]. Вместе с тем решение практических вопросов технологии производства холоднодеформированных труб требует детального изучения, для сбора подробной информации о напряженно-деформированном состоянии (НДС) металла в очаге деформации и выявления особенностей кинематического взаимодействия валков с заготовкой, связанных с типами калибров и конструкциями станов. Таким образом, существуют потребность в трехмерных моделях анализа прокатки труб на станах ХПТ, в целях составления маршрутов производства и подбора калибров.

Использование современных численных методов анализа, таких как метод конечных элементов (МКЭ), обеспечивает точное воспроизведение протекания процессов деформации металла при решении объемных задач. Данный метод является одним из самых распространенных в настоящее время.

Задаче применения 3D-моделирования процесса холодной прокатки труб посвящено значительное число работ. Это обусловлено тем, что, данный процесс затрудняется сложностью технологии производства – деформация в валках с ручьями переменного профиля, влияющего на поведение модели. Для разработки таких программных пакетов требуются создание сложных алгоритмов решения задач, отработка решений на плоских моделях и наличие специальных конечных элементов и настроек, позволяющих не допускать нежелательные эффекты и управлять ходом решения связанной задачи. Конечным результатом 3D-моделирования процесса холодной прокатки является функции времени (за весь цикл прокатки) поля напряжений и деформаций в очаге деформации прокатываемой заготовки, температурные поля, а также энергетические параметры прокатки.

Несмотря на большое количество преимуществ и точность применяемого метода, есть ряд недостатков: необходимость в мощном оборудовании (техническом обеспечении, ПК и ПО) для проведения исследования и достаточно большое количество времени, требующееся на проведение анализа.

Для операций обработки металлов давлением на станах ХПТ были созданы математические модели процессов, позволяющие рассчитать напряженно-деформированное состояние в любой точке поперечного сечения трубы, дать оценку использованию ресурса пластичности металла с учетом характера движения материальной частицы и упрочнения металла при пластической обработке [4].

Ввод, корректировка исходных данных по проходам и выполнение анализа маршрута на соответствие технологическим ограничениям производится в экранной форме.

Обязательными параметрами для расчета являются марка металла, по которому имеются данные о механических характеристиках, вид технологической операции, форма и размеры исходной заготовки и промежуточных труб, трение на наружной и, при необходимости, на внутренней поверхности трубы.

Итоговые протоколы работы программы для проходов ХПТ представлены в виде детализированных таблиц с разбиением на мгновенные очаги деформации (МОД) рабочего конуса прокатки, где отображены: номер МОД, обозначение прямого или обратного хода клетки; продольная координата МОД, угловая координата положения частицы в поперечном сечении,

диаметр калибра или наружный диаметр трубы, внутренний диаметр трубы или диаметр оправки, толщина стенки трубы, накопленная степень деформации сдвига, коэффициент напряженного состояния, усилие металла на валок и осевое усилие на заготовку. По результатам расчетов есть возможность построить графики распределения усилий по длине рабочего конуса.

По окончании расчета автоматически создается и открывается текстовый файл с результатами и с сообщениями о недостающих данных.

Заключение. В настоящее время имеют широкое распространение методы 3D-моделирования и математическое моделирование в процессах разработки технологических маршрутов и расчета калибровок инструмента в процессах холодной прокатки труб на станах ХПТ. Данные программные пакеты позволяют достаточно точно и быстро произвести анализ предполагаемого технологического процесса.

Список литературы

1. Орлов Г.А. Холодная прокатка и волочение труб: учебное пособие. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 188 с.
2. Богатов А.А., Смирнов Н.А., Харитонов В.В., Орлов Г.А., Тропотов А.В. Анализ на ПЭВМ маршрутов волочения, холодной прокатки и прессования труб. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005. – 31 с.
3. Иванов А.В., Чередниченко А.В. Численное исследование процесса холодной прокатки труб на станах ХПТ // Наука и образование МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – №8. – С. 9-29. – doi.org/10.7463/0814.0724421.
4. Смирнов Н.А. Автоматизированное проектирование и анализ основных технологических операций в технологии производства холоднодеформированных труб // Металлург. – 2025. – №7. – С. 9-12. – doi.org/10.52351/00260827-2025_7_9.

Сведения об авторах:

Гиззатуллина Ольга Ирековна – аспирант;

Орлов Григорий Александрович – д.т.н., профессор.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ЭФФЕКТА ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ОСАДКЕ АЛЮМИНИЯ МАРКИ АМЦ

Рулин С.П., Петров П.А.

Московский политехнический университет, Москва

Ключевые слова: тепловой эффект, теплоемкость, пластическая деформация, вычислительный эксперимент, алюминий АМц (3003), метод конечных элементов.

Аннотация. В работе представлены результаты исследования теплового эффекта пластической деформации цилиндрической заготовки из алюминия марки АМц (3003), выполненного на основе вычислительного эксперимента. Натурный эксперимент проводится для определения температурной зависимости теплоемкости сплава АМц от температуры в диапазоне значений от 20 °С до 450°С методом ДСК-анализа; вычислительный эксперимент выполнен с применением программы QForm, основанной на методе конечных элементов. При разработке расчетной модели осадки учитываются несколько вариантов задания теплоемкости сплава АМц с учетом экспериментальных данных о теплоемкости сплава, что позволяет повысить точность вычислительного эксперимента.

RESEARCH INTO THE HEAT EFFECT OF PLASTIC DEFORMATION OF AMC (3003) GRADE ALUMINUM

Rulin S.P., Petrov P.A.

Moscow Polytechnic University, Moscow

Keywords: heat effect, heat capacity, plastic deformation, computational simulation, AMc (3003) grade aluminum, finite element method.

Abstract. This paper presents the results of a computational study of the thermal effect of plastic deformation of a cylindrical billet made of AMc (3003) aluminum. A full-scale experiment was conducted to determine the temperature dependence of the AMc (3003) alloy's heat capacity over a range from 20°C to 450°C using differential scanning calorimetry (DSC). The computational experiment was performed using the QForm program, which is based on the finite element method. When developing the computational upsetting model, several options for specifying the AMc (3003) alloy's heat capacity were considered, taking into account experimental data on the alloy's heat capacity, thereby improving the accuracy of the computational experiment.

В процессе выполнения операции обработки металлов давлением в очаге деформации температура (T_i) материала не остается постоянной в течение рабочего хода деформирующего инструмента. Изменение температуры связано с переносом тепла, обусловленным несколькими механизмами: теплопередачей, конвекцией, излучением [1].

Тепловым источником при пластической деформации является деформируемая заготовка. При её деформировании работа пластической деформации сопровождается выделением теплоты, нагревом металла заготовки и последующим переносом тепла в её объеме, приводящим к изменению температуры. При постоянной скорости деформирования либо деформации, изменение температуры по объему заготовки приводит к изменению его сопротивления деформации и, как следствие, изменению характера течения металла.

Принято считать, что энергия пластической деформации на 90% переходит в теплоту и на 10% затрачивается на эволюцию микроструктуры [2]. При проведении расчетов температурного поля заготовки текущее значение температуры (T_i), соответствующее заданной величине деформации, скорости деформации может быть определено формулой:

$$T_i = T_0 + \Delta T, \quad (1)$$

где T_0 – начальная (исходная) температура нагрева деформируемой заготовки.

В случае адиабатических условий теплопередача на границе «инструмент»–«заготовка» отсутствует и повышение температуры ΔT может быть определено из уравнения теплопроводности формулой:

$$\Delta T = \frac{0,9 \cdot \sigma_i \dot{\epsilon}_i}{c_p}, \quad (2)$$

где c_p – удельная теплоемкость; σ_i – интенсивность напряжения текучести (сопротивление деформации); $\dot{\epsilon}_i$ – интенсивность скорости деформации.

Ранее авторы данной статьи рассмотрели вопрос об экспериментальном исследовании теплового эффекта пластической деформации алюминиевого сплава АД1 (технический алюминий, ГОСТ 4784) [3]. Удельная теплоемкость сплава АД1 определена также экспериментально и представлена зависимостью от температуры в диапазоне значений от 20°C до 450°C (рис. 1, а). Проведенные натурный и вычислительный эксперименты позволили получить результаты, показывающие адекватность математического моделирования теплового эффекта пластической деформации для сплава АД1. Оценка адекватности выполнена на основе расчета значения относительной погрешности и её минимизации (8,13%, в среднем). Установлено значение характеристики теплообмена для адиабатических условий: коэффициент теплопередачи 100000,0 Вт/(м²·К), – обеспечивающее минимальную относительную погрешность [3]. Данное значение коэффициента теплопередачи примем в настоящей работе при выполнении вычислительного эксперимента для сплава АМц.

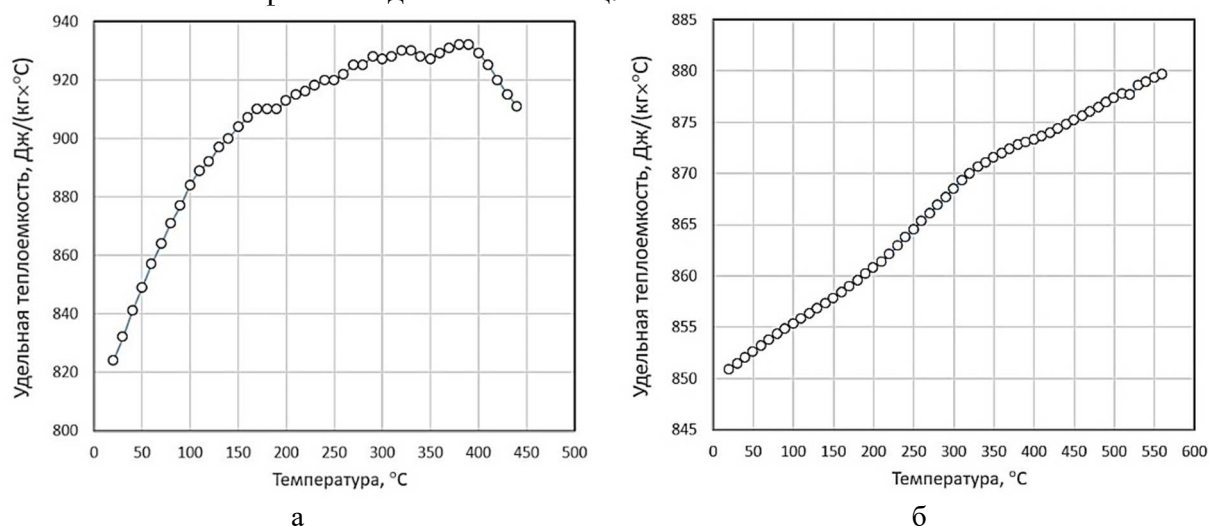


Рис. 1. График экспериментальной зависимости удельной теплоемкости от температуры:
а) сплав АД1 [3]; б) сплав АМц

Целью настоящей работы является изучение влияния удельной теплоемкости материала заготовки на тепловой эффект пластической деформации при осадке цилиндрического образца алюминиевого сплава АМц. Для достижения поставленной цели проводится вычислительный эксперимент с применением программы QForm. Условия теплопередачи между деформируемым металлом и материалом инструмента принимаются адиабатическими; деформация выполняется при температуре $T_0 = 34,5^\circ\text{C}$ (комнатная температура). Выбор температуры обусловлен также, как и в работе [3], характерным режимом обработки давлением данного сплава при изготовлении штамповок прямым и/или обратным выдавливанием в сферическую матрицу с применением сферического пуансона [4]. Для температуры T_0 значение удельной теплоемкости равно 851,71 Дж/(кг·К).

Вычислительный эксперимент выполнен с применением программы QForm, в основе которой использован метод конечных элементов [1]. Размеры виртуального образца сплава АМц – диаметр $\varnothing 49,3$, высота 49,3 мм (рис. 2а).

Удельная теплоемкость сплава АМц определена на основе натурального эксперимента методом термографического анализа (ДСК-анализа). Размер образца для ДСК-анализа – диаметр $\varnothing 5,0$ мм, высота 0,6 мм. В результате теплоемкость сплава АМц определена в диапазоне температур от 20 до 450°C (рис. 1, б).

Контроль текущей температуры образца во время его пластического деформирования осадкой в виртуальном эксперименте выполнен с применением термопары (трассируемая точка 48, рис. 2, б), установленной на глубину 8 мм (рис. 2, а). На рисунке 2, в показано положение термопары в конце рабочего хода при достижении высоты виртуального образца 26,6 мм.

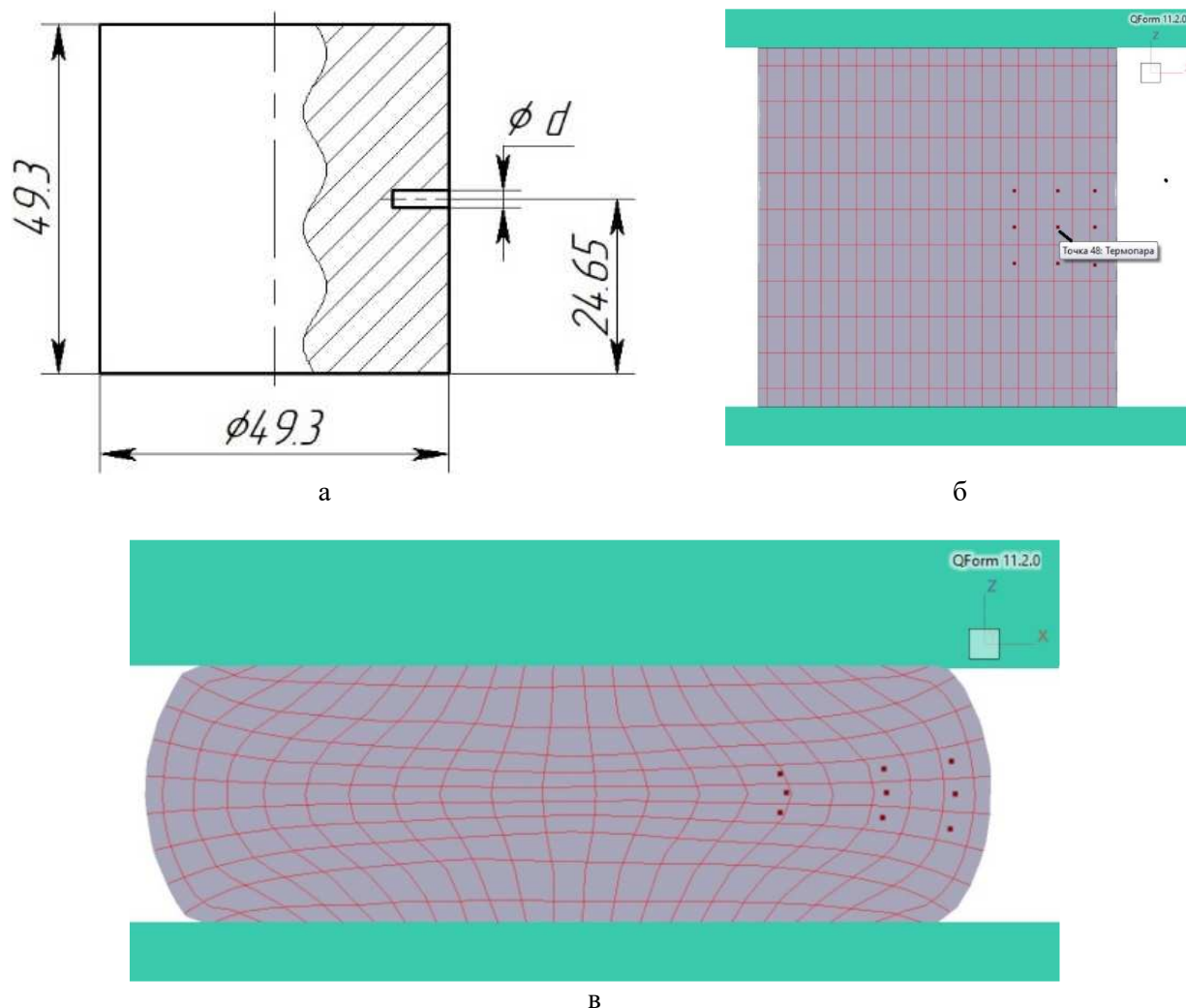


Рис. 2. Схема установки термодпары $\varnothing d$ в образце: а) натурный образец; б) и в) виртуальная модель образца до осадки и после осадки, соответственно

Разработанная модель процесса осадки цилиндрического образца из сплава АМц, учитывающая зависимость удельной теплоемкости от температуры, позволяет вычислить параметры напряженно-деформированного состояния и температурное поле заготовки на каждом шаге процесса его деформирования. Деформирование выполняется по времени, учитывая скорость рабочего хода гидравлического пресса равную 5,5 мм/с (скорость деформации в начальном момент рабочего хода равна $0,1 \text{ с}^{-1}$) аналогично тому, как это было выполнено в предыдущей работе авторов [3].

Рассматриваются несколько вариантов проведения виртуального эксперимента: 1) при постоянной удельной теплоемкости $c_p = 851,71 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ не зависящей от температуры деформации; 2) при переменной удельной теплоемкости, зависящей от температуры деформации сплава АМц (см. рис.1б). В каждом из вариантов расчета в программе QForm принимается: модель трения А.Н.Леванова [1] и фактор трения равный 1 (отсутствие смазки); условие теплопередачи на границе «инструмент»-«заготовка» – тип «простой», что соответствует адиабатическим условиям деформации. Сопротивление деформации сплава АМц приняты из базы данных деформируемых материалов программы QForm в диапазоне температуры и скорости деформации: 20-250°C и $0,01\text{-}10 \text{ с}^{-1}$, соответственно.

В таблице 1 представлены результаты проведенных вычислительных экспериментов; коэффициент теплопередачи принят равным $100000,0 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$.

Табл. 1. Результаты вычислительного эксперимента для трассируемой точки

Температура в начале рабочего хода вычислительного эксперимента, °C	Скорость рабочего хода прессы, мм/с	Температура в конце рабочего хода вычислительного эксперимента при постоянной теплоемкости ($T_{т.конст}$), °C	Температура в конце рабочего хода вычислительного эксперимента при переменной теплоемкости ($T_{т.вар}$), °C	Приращение температуры за весь рабочий ход	
				при постоянной теплоемкости	при переменной теплоемкости
				ΔT , °C	ΔT , °C
	температура заготовки, инструмента и окружающей среды одинаковы в начале рабочего хода				
34,5	2,0	57,40	57,39	22,91	22,90
34,5	5,5	64,74	64,72	30,25	30,23

Выводы. По результатам анализа полученных данных в вычислительном эксперименте можно сделать вывод о том, что учет зависимости удельной теплоемкости металла (алюминиевого сплава АМц) от температуры приводит к уменьшению значения приращения температуры к концу рабочего хода. Для дополнительной калибровки разработанной модели виртуального эксперимента на следующем этапе нашего исследования запланировано проведение натурного эксперимента.

Список литературы

1. Власов А.В., Стебунов С.А., Евсюков С.А. Конечно-элементное моделирование технологических процессовковки и объемной штамповки: Учебное пособие / Под ред. А.В. Власова. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2019. – 383 с.
2. Li S., Li L., He H., Wang G. Influence of the deformation heating on the flow behavior of 6063 alloy during compression at medium strain rates // Journal of Materials Research. 2019, vol. 34(2), pp. 309-320.
3. Рулин С.П., Петров П.А. Исследование теплового эффекта пластической деформации при осадке алюминия марки АД1 // Фундаментальные основы механики. – 2025. – №16. – С. 96-100. – doi.org/10.26160/2542-0127-2025-16-96-100.
4. Рулин С.П., Петров П.А. Разработка компьютерной модели прямого выдавливания в сферическую матрицу // Известия Тульского Государственного университета. Технические науки. – 2024. – №7. – С. 610-615.

Сведения об авторах:

Рулин Сергей Павлович – аспирант;

Петров Павел Александрович – к.т.н., доцент, доцент кафедры «ОМДиАТ».

УДК 331.461

ВКЛАД ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИЕ РЕАЛИЗОВАННЫХ ОПАСНЫХ СОБЫТИЙ: НЕЙРОСЕТЕВОЙ АНАЛИЗ**Герасименко Н.М.¹, Глебова Е.В.², Rogozin Ю.О.³**¹ООО «ЭКСПЛОН», Москва;²Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, Москва;³ООО «Газпром трансгаз Сургут», Сургут

Ключевые слова: профессиональный риск, реализованные опасные события, индивидуальные факторы, ответственность, эмоциональность, возраст, многослойный перцептрон.

Аннотация. В статье исследован вклад индивидуальных качеств и характеристик работников в формирование источников профессиональных рисков и реализованных опасных событий (производственный травматизм и профессиональные заболевания). С использованием многослойного перцептрона построена модель с хорошим качеством ретроспективной классификации (AUC 0,781). Выделены ключевые предикторы с наибольшей прогностической ценностью (ответственность, эмоциональность, возраст).

CONTRIBUTION OF INDIVIDUAL FACTORS TO THE FORMATION OF REALIZED HAZARDOUS EVENTS: A NEURAL NETWORK ANALYSIS**Gerasimenko N.M.¹, Glebova E.V.², Rogozin Yu.O.³**¹EXPLON LLC, Moscow;²Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow;³Gazprom Transgaz Surgut LLC, Surgut

Keywords: occupational risk, realized hazardous events, individual factors, responsibility, emotionality, age, multilayer perceptron.

Abstract. The article investigates the contribution of employees' individual qualities and characteristics to the formation of occupational risk sources and realized hazardous events (occupational injuries and diseases). A model based on a multilayer perceptron demonstrated high-quality retrospective classification (AUC 0.781). Key predictors with the highest predictive value (responsibility, emotionality, age) were identified.

Деятельность человека в современной социально-экономической реальности «человек – техника – природная среда» требует анализа не только проявления многообразных и многочисленных факторов производственной среды [1], но и анализа поведения самого работника [2], его индивидуальных качеств и характеристик. Среди причин возникновения профессиональных рисков выделены общие, объективные источники рисков, обусловленные производственной средой (высота, шум, вибрация, электрический ток и т.д.), и субъективные источники рисков – индивидуальные факторы, обусловленные индивидуальными качествами и характеристиками конкретного работника. В данном исследовании рассмотрены следующие индивидуальные качества, детерминирующие поведение работника в текущий момент времени, – ответственность как компонент внутренней мотивации, и эмоциональность как компонент темперамента. В числе индивидуальных характеристик рассмотрены социально-демографические показатели (возраст, образование, стаж работы). Целью настоящего исследования являются оценка вклада индивидуальных факторов в формирование реализованных опасных событий (производственный травматизм, профессиональное заболевание) и определение прогностической значимости этих факторов в структуре профессиональных рисков.

Для реализации поставленной цели разработан специальный опросник, измеряющий качественную выраженность ответственности и эмоциональной устойчивости. Опросник содержит информацию по социально-демографическим показателям (возраст, образование, стаж работы на данном предприятии, общий стаж работы) и по фактам несчастных случаев, полученным микротравмам и выявленным профессиональным заболеваниям. Опросник обладает высокой внутренней согласованностью утверждений (альфа Кронбаха 0,909) и высокой степенью содержательной валидности [3].

Дистанционно с использованием Яндекс Формы проведен анонимный опрос среди работников рабочих профессий основного и вспомогательного производств газотранспортного предприятия ($n = 554$). Данные использованы в обобщенном виде.

Для создания зависимой бинарной переменной «Травма» работники разделены по качественному признаку на две группы:

1-я группа «Травма» – работники, получившие травму и/или профессиональное заболевание на предприятии ($n = 189$, 34,1%).

2-я группа «Без травмы» – работники, не получившие травму и/или профессиональное заболевание на предприятии ($n = 365$, 65,9%).

Индивидуальные факторы представлены независимыми категориальными переменными «Возраст», «Образование», «Стаж работы на данном предприятии», «Общий стаж работы», «Степень ответственности», «Эмоциональность».

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена в программном комплексе IBM SPSS Statistics 23 [4].

Для анализа вклада индивидуальных факторов в формирование зависимой переменной «Травма» на основе искусственной нейронной сети (многослойный перцептрон) построена модель. Выбор метода обусловлен наличием нелинейных зависимостей в исследуемых эмпирических данных. На основании ретроспективных данных модель оценивает апостериорную вероятность отнесения работника к группе «Травма» в соответствии с его индивидуальными качествами и характеристиками. Величина ошибки на контрольной выборке (25,0%) ниже, чем на обучающей (25,6%), что подтверждает способность модели выявлять реальные закономерности.

Анализ ROC-кривой (Receiver Operating Characteristic curve) свидетельствует о хорошем качестве ретроспективной классификации работников: показатель AUC (Area Under the Curve, площадь под кривой) составляет 0,781. Данный показатель подтверждает вклад индивидуальных факторов в формирование реализованных опасных событий. Выявленная закономерность позволяет вычислить вероятность аналогичных событий в будущем. Общая точность предсказания составляет 75,0%. Выявлена высокая специфичность (предсказание отсутствия реализованного опасного события): в 89,2% случаев модель адекватно определяет работников с низкой вероятностью реализации опасного события. Относительно невысокая чувствительность (предсказание наличия реализованного опасного события) 49,1% в значительной мере определена порогом отсечения (0,5 в данной модели). Снижение порога отсечения, например, до 0,4 способствует минимизации допусков к работам работников с качественной выраженностью дефицита ответственности и эмоциональной устойчивости.

Анализ важности независимых переменных показал, что наибольший вклад в классификацию реализованных опасных событий вносят индивидуальные качества работников: дефицит ответственности (важность 100%), дефицит эмоциональной устойчивости (важность 93,1%). Переменная возраста занимает третье место по важности (56,8%). Такие факторы как стаж общий, стаж на данном предприятии, уровень образования обладают меньшей прогностической ценностью (важность менее 50%: 29,5%, 20,7%, 17,2% соответственно). Данные свидетельствуют о приоритете индивидуальных качеств, обуславливающих поведение работника в текущий момент времени, над формальными профессиональными показателями и не подтверждают традиционное представление о том, что стаж и образование гарантируют безопасность. Ответственность и эмоциональность являются ключевыми детерминантами уже реализованных опасных событий.

Выявленные закономерности имеют практическое значение при приеме на работу и формировании бригад для выполнения работ в штатном режиме функционирования предприятия.

Список литературы

1. Жолманов Д.К., Зиновьева О.М., Меркулова А.М., Смирнова Н.А. Оценка эффективности системы управления рисками на горнодобывающих предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – №10. – С. 166-176. – doi.org/10.25018/0236_1493_2022_10_0_166.
2. Виноградова О.В. Роль персонала в обеспечении безопасности на угледобывающих предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – №2-1. – С. 64-76. – doi.org/10.25018/0236-1493-2021-21-0-64-76.
3. Аванесов В.С. Тесты в социологическом исследовании. – М.: Наука, 1982. – 200 с.

4. Бююль А., Цёфель П. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановления скрытых закономерностей. – СПб.: ДиаСофтЮП, 2005. – 608 с.

Сведения об авторах:

Герасименко Надежда Михайловна – к.б.н., ведущий специалист по охране труда и охране окружающей среды;

Глебова Елена Витальевна – д.т.н., профессор, заведующая кафедрой промышленной безопасности и охраны окружающей среды;

Рогозин Юрий Олегович – начальник отдела охраны труда.

**Научно-исследовательский центр «МашиноСтроение»
(НИЦ МС)**

<http://srcms.ru/>

E-mail: info@srcms.ru

