

ResearchGate

Google Scholar

I^{WORLD}
I^{JOURNALS}

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
LIBRARY.RU



zenodo



ISSN

e-ISSN(Online) 2709-1201



МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ENDLESS LIGHT IN SCIENCE

NO 12

31 ДЕКАБРЯ 2025

Астана, Казахстан



lrc-els.com



МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ENDLESS LIGHT IN SCIENCE»
INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL «ENDLESS LIGHT IN SCIENCE»



Main editor: G. Shulenbaev

Editorial colleague:

B. Kuspanova
Sh Abyhanova

International editorial board:

R. Stepanov (Russia)
T. Khushruz (Uzbekistan)
A. Azizbek (Uzbekistan)
F. Doflat (Azerbaijan)

International scientific journal «Endless Light in Science», includes reports of scientists, students, undergraduates and school teachers from different countries (Kazakhstan, Tajikistan, Azerbaijan, Russia, Uzbekistan, China, Turkey, Belarus, Kyrgyzstan, Moldova, Turkmenistan, Georgia, Bulgaria, Mongolia). The materials in the collection will be of interest to the scientific community for further integration of science and education.

Международный научный журнал «Endless Light in Science», включают доклады учёных, студентов, магистрантов и учителей школ из разных стран (Казахстан, Таджикистан, Азербайджан, Россия, Узбекистан, Китай, Турция, Беларусь, Кыргызстан, Молдавия, Туркменистан, Грузия, Болгария, Монголия). Материалы сборника будут интересны научной общественности для дальнейшей интеграции науки и образования.

31 декабря 2025 г.
Астана, Казахстан

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18194107>
УДК 32:004.89(043.3)

К ВОПРОСУ О РАЗВИТИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА 2024–2029 ГОДЫ

КАДЫР ЛИНАР ЕРНАРОВИЧ

студент НАО «Торайгыров университет», Павлодар, Казахстан

Аннотация: в статье рассматривается влияние искусственного интеллекта (ИИ) на общество и государственное управление в Казахстане. Подчеркивается, что ИИ становится стратегическим ресурсом для модернизации экономики, повышения эффективности политических решений и укрепления цифрового суверенитета. Анализируется позиция Казахстана в международных рейтингах готовности к использованию ИИ, включая методику Oxford Insights, где страна занимает 72-е место среди 193 государств. Особое внимание уделено развитию цифровой инфраструктуры: созданию центров обработки данных, национальной гипермагистрали «Запад–Восток», внедрению технологии 5G и формированию сети региональных ИТ-хабов. Рассматриваются сильные и слабые стороны Казахстана в сфере ИИ: наличие цифрового потенциала и адаптивной правовой базы, но недостаточная технологическая зрелость, слабый инновационный капитал и ограниченный доступ к вычислительным ресурсам. Отмечаются перспективы применения ИИ в прогнозировании общественных настроений, оптимизации стратегий и автоматизации госуслуг, а также вызовы, связанные с прозрачностью алгоритмов и ответственностью за их решения. В заключение подчеркивается необходимость повышения качества данных, развития человеческого капитала и интеграции международного опыта для формирования устойчивой цифровой экосистемы.

Ключевые слова: искусственный интеллект, цифровая инфраструктура, государственное управление, Oxford Insights, центры обработки данных, ИТ-Хаб, цифровой суверенитет, прогнозирование общественных настроений, инновационный потенциал, цифровая трансформация.

Abstract. The article examines the impact of artificial intelligence (AI) on society and public governance in Kazakhstan. It emphasizes that AI is becoming a strategic resource for economic modernization, enhancing the efficiency of political decision-making, and strengthening digital sovereignty. Kazakhstan's position in international AI readiness rankings is analyzed, including the Oxford Insights methodology, where the country ranks 72nd among 193 states. Particular attention is given to the development of digital infrastructure: the establishment of data centers, the national "West–East" backbone, the deployment of 5G technology, and the formation of regional IT hubs. The study highlights Kazakhstan's strengths –such as digital potential and an adaptive legal framework – as well as weaknesses, including insufficient technological maturity, low innovation capacity, and limited access to computing resources. Promising applications of AI are noted in forecasting public sentiment, optimizing strategies, and automating government services, while challenges remain regarding algorithmic transparency and accountability. The conclusion stresses the need to improve data quality, develop human capital, and integrate international best practices to build a sustainable digital ecosystem.

Keywords: artificial intelligence, digital infrastructure, public governance, Oxford Insights, data centers, IT hubs, digital sovereignty, public sentiment forecasting, innovation potential, digital transformation.

Влияние искусственного интеллекта на общество никогда не проявлялось так ярко и не развивалось такими быстрыми темпами, как в последнее пятилетие. В мире уже несколько лет ведется гонка технологий искусственного интеллекта, в которой есть два

явных лидера – США и Китай, в основном благодаря наличию таких технологических гигантов, как Google, Facebook, Microsoft, Alibaba, Baidu и Tencent, а также значительным инвестициям в исследования и разработки в области искусственного интеллекта. Казахстан недавно включился в этот процесс, когда Президент Казахстана Касым-Жомарт Токаев в своем выступлении на Международном технологическом форуме «Digital Bridge 2023» в городе Астане подчеркнул важность искусственного интеллекта для экономического роста страны.

Готовность правительств к использованию искусственного интеллекта определяется методикой расчета Oxford Insights, в которой анализируются основные тенденции и инициативы. Данная методика включает субиндексы, на которых базируется каждый показатель, представленный на рисунке 1. Обозначенные на рисунке параметры представляют интерес не только как показатели готовности правительства к оказанию услуг на базе искусственного интеллекта, многие параметры могут рассматриваться как показатели страны к развитию искусственного интеллекта в принципе. Субиндексы делятся на три больших группы: «правительство», «технологический сектор» и «доступ к данным и инфраструктуре».

Внедрение искусственного интеллекта в политические процессы Казахстана представляет собой не просто технологическое обновление, а фундаментальную трансформацию модели государственного управления. В условиях стремительного развития цифровых технологий ИИ становится ключевым инструментом повышения эффективности, прозрачности и адаптивности политических решений.

Одним из наиболее перспективных направлений является прогнозирование общественных настроений. С помощью алгоритмов машинного обучения можно анализировать данные из социальных сетей, опросов, обращений граждан и других источников, выявляя скрытые тенденции и потенциальные точки напряженности. Это позволяет органам власти реагировать на вызовы до их эскалации, формируя более устойчивую и ориентированную на граждан политику.

Кроме того, ИИ способен оптимизировать процесс разработки стратегий, моделируя различные сценарии развития событий. Например, при принятии решений о реформе образования или здравоохранения можно использовать симуляции, основанные на исторических данных, демографических прогнозах и экономических показателях. Это снижает риски и повышает обоснованность политических инициатив.

Согласно Индексу готовности правительства, к искусственному интеллекту на 2023 год, проведенному Oxford Insights, Казахстан находится на 72 месте среди 193 стран.

Несмотря на очевидные преимущества, использование ИИ в политике сопряжено с рядом этических и правовых вызовов. Одним из ключевых является прозрачность алгоритмических решений. Граждане должны понимать, как и на основе каких данных принимаются решения, особенно если они касаются распределения ресурсов, социальной поддержки или правовых последствий.

Также актуален вопрос ответственности: кто несёт ответственность за ошибочные или дискриминационные решения, принятые ИИ? В условиях автоматизации важно сохранить человеческий контроль и обеспечить механизмы апелляции и пересмотра решений.

Казахстан активно изучает международный опыт и стремится адаптировать лучшие практики. В странах ЕС, США, Южной Кореи и Сингапуре ИИ уже используется для анализа общественного мнения, автоматизации госуслуг и прогнозирования политических рисков. Казахстан может перенять эти подходы, адаптируя их к своим культурным и институциональным особенностям.

Участие в международных инициативах, таких как Глобальное партнерство по искусственному интеллекту (GPAI), открывает доступ к экспертным знаниям и технологиям. Это способствует укреплению позиций страны на глобальной арене и формированию имиджа технологически развитого государства.

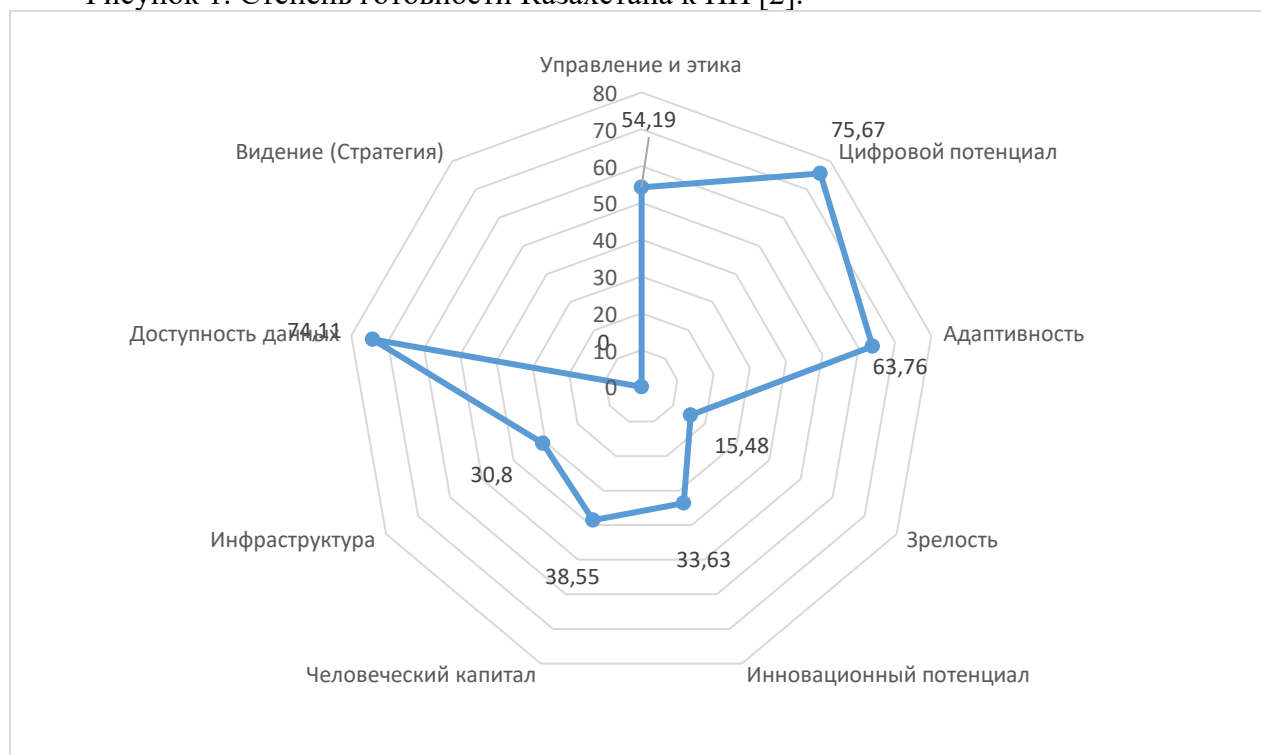
Создание сети ИТ-хабов под управлением Astana Hub – важный шаг в децентрализации цифрового развития. На сегодняшний день функционируют 14 региональных хабов, а в 2024 году планируется открытие ещё пяти. Эти центры становятся точками роста для местных стартапов, образовательных инициатив и технологических экспериментов.

Особое значение имеет строительство центров обработки данных (ЦОД), включая проект в Экибастузе и запуск основного ЦОД в Астане. Это позволит обеспечить хранение и обработку больших объемов информации внутри страны, снизить зависимость от зарубежных облачных сервисов и повысить уровень цифрового суверенитета.

Ведётся работа по созданию национальной гипермагистралей «Запад–Восток», которая обеспечит альтернативный трафик и повысит устойчивость Интернет-соединения. Это особенно важно для сельских регионов, где до сих пор сохраняется дефицит качественного доступа к интернету. Согласно планам Министерства цифрового развития, к 2027 году 75 % городов республиканского значения и 60 % областных центров будут обеспечены технологией 5G.

Таким образом, Казахстан формирует уникальную модель цифрового развития, где искусственный интеллект становится не только технологическим инструментом, но и стратегическим ресурсом для модернизации государственного управления, повышения качества жизни и укрепления национального суверенитета в цифровую эпоху [1].

Рисунок 1. Степень готовности Казахстана к ИИ [2].



Сильными сторонами страны являются доступность данных, цифровой потенциал и адаптивность правовой базы к цифровым бизнес-моделям. Слабыми сторонами являются отсутствие стратегического видения, недостаточная технологическая зрелость, недостаточная развитость инфраструктуры, низкий инновационный потенциал и человеческий капитал. Если раскрывать отдельные показатели индекса, слабыми сторонами также являются отсутствие крупных частных технологических компаний (единорогов), низкий венчурный капитал и недостаточные расходы на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

Основами развития искусственного интеллекта являются качество и инструменты управления данными. Казахстан достаточно далеко продвинулся в генерации и сборе данных. В секторе государственного управления ведется интенсивный сбор данных – на государственном архитектурном портале зарегистрировано 183 информационные системы центральных государственных органов. Большие данные генерируют банковский и финансовый сектор, клиентские сервисы бизнеса на основе облачных технологий, телекоммуникационный сектор и другие.

Среди крупных хранилищ данных выделяется озеро данных, аккумулируемых на Smart data ukimet: данные 93 информационных систем стекаются в единый Data Lake с целью последующей аналитической обработки и применения для принятия решений.

В системе государственного управления все ещё остаются пробелы в оцифровке отраслевых данных. В тройку лидеров по системной оцифровке данных входят сферы: образование – 81 %, финансы – 59 %, социальное обеспечение – 59 %, сферами с наименьшим объемом оцифрованных данных являются: спорт и туризм – 25 %, бизнес – 13 %, энергетика – 33 %, наука – 2 %.

Таким образом, в данном направлении открытыми остаются проблемы, связанные с отсутствием качества данных, недостаточной оцифровкой данных, дублированием данных и другие. При этом для полноценного использования и развития искусственного интеллекта необходимы качественные и доступные данные. Дальнейшая работа предстоит в области сбора, накопления и обеспечения доступа к данным, анализа пересекающихся данных между госорганами, повышения качества данных (заполнение пустых значений и актуализация информации). Эти проблемы естественны для формирования экосистемы данных и будут постепенно решаться.

Одним из факторов, обуславливающих развитие технологий искусственного интеллекта, а также эффективное внедрение их в экономику, является степень развитости цифровой инфраструктуры, которая охватывает качество и доступность Интернет-соединения, доступ к современному оборудованию с высокой вычислительной мощностью, включая наличие центров обработки данных и другие. Правительством ведется работа по налаживанию тесного взаимного сотрудничества с такими техногигантами, как NVIDIA, Microsoft, Amazon по размещению центров обработки данных на территории Казахстана.

На начало 2024 года из 6406 казахстанских населенных пунктов широкополосным доступом к Интернет-соединению по мобильным технологиям обеспечены 116 городов и 4866 сел (широкополосным доступом к Интернету по мобильным технологиям 3G – 1652 сел, 4G – 3214 сел). Интернет-соединение по технологии Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) обеспечено в 1950 сельских населенных пунктах, а по технологии волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) в 2606 сельских населенных пунктах.

Остается нерешенным вопрос 100 % обеспечения сельских населенных пунктов качественным интернет-соединением (1294 сельских населенных пункта). Мероприятия по достижению этой цели предусмотрены действующим стратегическим отраслевым документом Министерства цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан, согласно которому к 2027 году 75 % городов республиканского значения и 60 % областных центров будут обеспечены технологией 5G.

В рамках Национального проекта «Доступный Интернет» реализуются меры по обеспечению альтернативного трафика посредством строительства национальной гипермагистрали «Запад-Восток» и создания отдельного центра обработки данных уровня TIER III для транзита и хранения международного трафика.

В Казахстане функционируют 51 центр обработки данных, а также 15 центров обработки данных, принадлежащих АО «НИТ», как оператору информационно-коммуникационной инфраструктуры «электронного правительства» Республики Казахстан.

Проводится работа по строительству центра обработки данных в городе Экибастузе, ввод в эксплуатацию которого планируется на 2025 год. В целях развертывания платформы QazTech АО «НИТ» проводится работа по приобретению центра обработки данных АО «Транстелеком», вместе с тем начаты работы по запуску основного центра обработки данных в городе Астане.

Компьютерная инфраструктура с вычислительной мощностью, позволяющей проводить исследования, разрабатывать технологии и модели искусственного интеллекта, организована на базе:

- Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева, где размещен суперкомпьютер PARAM BILIM производительностью 10 терафлопс (в рамках модернизации данного суперкомпьютера Евразийским национальным университетом планируется масштабирование производительности PARAM BILIM до 100 терафлопс);
- Научной лаборатории Satbayev University суперкомпьютер с пиковой производительностью 10,9 терафлопс;
- Казахстанско-Британского технического университета суперкомпьютер производительностью 10 терафлопс;
- Института информационно-вычислительных технологий суперкомпьютер производительностью 16 терафлопс;
- Назарбаев Университета суперкомпьютер на 7 узлов с производительностью 25 терафлопс;
- Казахский национальный университет имени аль-Фараби заключил соглашение на поставку суперкомпьютера производительностью 1938,41 терафлопс.

В Казахстане действует разветвленная сеть из 14 региональных ИТ-хабов (ИТ – информационные технологии) в городах Кызылорде, Актобе, Семей, Талдыкоргане, Усть-Каменогорске, Актау, Туркестане, Таразе, Уральске, Кокшетау, Костанай, Караганде, Қонаев и Павлодаре под управлением Астана Хаб.

В 2024 году запланировано открытие 5 ИТ-хабов в городах Атырау, Шымкенте, Жезказгане, Петропавловске и Жанаозене. Несмотря на наличие инфраструктурной базы, основным барьером развития искусственного интеллекта в Казахстане является ограниченность доступа к вычислительным ресурсам, необходимым для обучения и внедрения моделей. Разработка современных моделей искусственного интеллекта и обучение требуют задействования высокопроизводительных вычислительных систем, использующих графические процессоры (GPU), тензорные процессоры (TPU) и языковые процессоры (LPU). Зачастую стартапы и малый средний бизнес не могут позволить себе покупку такого оборудования для развития собственных решений искусственного интеллекта и вынуждены либо арендовать их за рубежом, либо покупать иностранные сервисы и продукты. В связи с ускорением технологической трансформации и цифровизации спрос на ИТ-специалистов и таланты людей в сфере ИТ остается высоким и превышает предложение. Удовлетворение спроса происходит в том числе за счет изменения отношения к формальному образованию при найме и продвижении кадров, когда наличие официального диплома теряет свои позиции в пользу легитимизации результатов онлайн-курсов самообучения и фактического наличия ИТ-навыков. Технологический прогресс проявляется в сокращении срока востребованности жестких навыков и быстрой смене набора навыков, необходимых для поддержания конкурентоспособности на рынке труда и эффективного выполнения служебных задач. Цифровая грамотность становится необходимостью для любого специалиста, а организации разделяют ответственность по обучению работников, выделяя до 1,5 % дохода на повышение квалификации и переподготовку кадров.

В 2022 году Казахстан занял 15-е место в рейтинге электронного участия граждан (E-Participation Index, EPI), при этом 94 % населения в возрасте от 6 до 74 лет являются интернет-пользователями. Однако осведомленность населения о развитии искусственного

интеллекта остается низкой, что ограничивает спрос на технологические разработки и инновационную активность.

Согласно оценке Oxford Insights в 2023 году в Казахстане отмечаются малое количество специалистов с высшим образованием в области инженерии и технологий, низкий уровень цифровых навыков, низкая активность ИТ-специалистов на GitHub и выпускников направления естественных наук (STEM – science, technology, engineering and mathematics).

Несмотря на это Казахстан имеет высокий потенциал. В 2021 году школьники завоевали медали на Азиатской олимпиаде по физике.

В 2022 году сборная Казахстана заняла 17-е место на Международной олимпиаде по математике. Школьники из Шымкента удостоились возможности выступить от лица Казахстана в Германии и заняли второе место на олимпиаде по робототехнике, в октябре 2022 года одержали победу на Всемирных соревнованиях FIRST GLOBAL CHALLENGE по робототехнике в Женеве, а в 2023 году казахстанские команды выиграли призы на конкурсах Kaggle по машинному обучению. В области неформального образования для быстрого овладения ИТ-навыками в Казахстане реализуется ряд инициатив, к примеру, программа Tech Orda обеспечивает государственное финансирование грантов на сумму до 600 тыс. тенге для населения в возрасте 18-45 лет на обучение в частных ИТ-школах.

В 2023 году в ней участвовали 83 ИТ-школы, предлагающие 219 курсов с продолжительностью от 6 месяцев до 2 лет, а также одна ИТ-компания с 11 курсами, обладающая собственной академией. В летних школах для развития навыков по программированию и искусственному интеллекту проводятся мероприятия, к примеру, по программе nFactorial School при поддержке компании «Шеврон» и Satbayev University.

Поиск талантов происходит за счет организации хакатонов, а развитие – за счет инкубаторов и акселераторов. Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан совместно с компаниями NVIDIA, Coursera, Huawei, Amazon, Binance, Microsoft и Google реализует обучающие программы с бесплатной сертификацией по искусственному интеллекту и машинному обучению. В области формального образования с 2021 года в Казахстане действует Атлас новых профессий и компетенций, на основе которого с 2023 года ОБПО обновляют учебные программы, внедряя модули по машинному обучению, data science, кибернетике, искусственному интеллекту и робототехнике.

В 2023–2024 годах прошли форумы по применению искусственного интеллекта в различных сферах (финансы, бизнес, образование), что привлекло внимание к его возможностям. AI Centre, Satbayev University, ISSAI Nazarbayev University, nFactorial, Alem и другие образовательные платформы ведут активную просветительскую работу в целях повышения осведомленности населения о преимуществах искусственного интеллекта и безопасности его использования.

Однако на сегодняшний день открытыми остаются системные проблемы, связанные с дефицитом кадров, отсутствием необходимых знаний, высокой конкуренцией за таланты в сфере ИИ, недостаточным количеством образовательных программ, недостатком практической подготовки в области искусственного интеллекта, в связи с чем необходимо продолжить обучение преподавателей и повышение квалификации отраслевых специалистов, более активное внедрение искусственного интеллекта в образовательные программы колледжей и ОБПО.

В Казахстане 24 учреждения высшего образования и научные центры занимаются исследованиями и разработками в области искусственного интеллекта. По данным InCites (Clarivate Analytics), полученным в мае 2023 года, в период за 2018–2022 годы казахстанские ученые опубликовали 191 статью в Web of Science Core Collection по тематическому направлению «Информатика, искусственный интеллект». В Концепции развития высшего образования и науки предусмотрены меры стимулирования

взаимодействия науки, производства и бизнеса через гранты на коммерциализацию результатов исследований и программы по переподготовке кадров в области коммерциализации. С 2023 года исследования в области искусственного интеллекта были внесены в перечень приоритетных отраслей науки.

С 2022 года действует Совет по технологической политике, задачи которого включают определение приоритетов технологического развития и рассмотрение инициатив по созданию технологических центров.

Финансирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ также низко в сравнении с выделяемым в других странах – несмотря на рост финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в номинале, запланированный уровень затрат 1 % от ВВП так и не достигнут. Вместе с тем одной из проблем в части данных является отсутствие раскрытия полного потенциала казахского языка, в связи с чем создание KazLLM с применением искусственного интеллекта является одним из ключевых факторов для стимулирования и развития казахского языка сквозь призму искусственного интеллекта. Продукты с применением искусственного интеллекта на основе KazLLM применимы практически во всех отраслях и бизнес-процессах, где задействованы текстовые данные. Инвестиции в разработку KazLLM являются стратегически важными для поддержания и укрепления национальной экономики и технологической независимости, открывая новые возможности для роста и инноваций в мире. В целом развитие научных исследований в сфере искусственного интеллекта требует финансовой поддержки и усиления взаимодействия между наукой, производством и бизнесом [3].

Интеграция технологий искусственного интеллекта (ИИ) в общественные процессы представляет собой важный этап цифровой трансформации, направленный на повышение качества жизни граждан, оптимизацию управления и обеспечение устойчивого развития. В рамках Концепции развития ИИ на 2024–2029 годы особое внимание уделяется следующим направлениям:

Электронное правительство. ИИ активно внедряется в сферу государственного управления, способствуя автоматизации процессов и повышению доступности услуг. Использование интеллектуальных помощников, чат-ботов и систем автоматизированной обработки обращений граждан позволяет оперативно реагировать на запросы, снижать административную нагрузку и повышать уровень удовлетворённости населения. Кроме того, ИИ применяется для анализа общественного мнения и формирования более точной и адаптивной государственной политики.

Городская инфраструктура (Smart City). В рамках концепции «умного города» ИИ используется для управления транспортными потоками, оптимизации энергопотребления и обеспечения общественной безопасности. Интеллектуальные системы позволяют прогнозировать загруженность дорог, регулировать освещение и контролировать экологические параметры в реальном времени. Это способствует созданию комфортной, безопасной и устойчивой городской среды.

Экологический мониторинг. ИИ играет ключевую роль в охране окружающей среды. С его помощью осуществляется анализ уровня загрязнения воздуха, воды и почвы, прогнозируются климатические изменения и оптимизируется управление природными ресурсами. Такие технологии позволяют своевременно выявлять экологические угрозы и принимать меры по их предотвращению.

Социальная политика. ИИ помогает государству более точно определять потребности различных групп населения, прогнозировать демографические и социальные тенденции, а также обеспечивать адресную помощь. Алгоритмы позволяют анализировать эффективность социальных программ, выявлять уязвимые категории граждан и оптимизировать распределение ресурсов, что способствует более справедливому и результативному социальному обеспечению.

Таким образом, интеграция ИИ в общественные процессы открывает новые возможности для повышения эффективности управления, улучшения качества жизни и укрепления доверия между государством и обществом. Однако успешная реализация этих инициатив требует соблюдения принципов прозрачности, этичности и инклюзивности, а также активного участия граждан в процессе цифровой трансформации. [4].

Казахстан обладает высоким потенциалом в сфере искусственного интеллекта, активно развивая образовательные инициативы, научные исследования и цифровую инфраструктуру. Несмотря на высокую степень интернет-проникновения и успехи школьников на международных олимпиадах, страна сталкивается с системными вызовами: дефицитом квалифицированных кадров, низким уровнем цифровых навыков, ограниченной практической подготовкой и недостаточным финансированием НИОКР. В ответ на эти вызовы реализуются масштабные программы – Tech Orda, nFactorial, Alem, AI Centre и другие – направленные на обучение, просвещение и развитие талантов. Создание национальной языковой модели KazLLM и включение ИИ в перечень приоритетных отраслей науки отражают стратегический курс на технологическую независимость и укрепление национальной идентичности. Для устойчивого прогресса необходимы дальнейшие инвестиции, обновление образовательных программ, повышение квалификации преподавателей и усиление взаимодействия между наукой, бизнесом и государством [5].

Дополнительно стоит подчеркнуть, что развитие искусственного интеллекта в Казахстане должно сопровождаться формированием комплексной экосистемы, включающей правовое регулирование, защиту персональных данных и создание доверительной среды для граждан. Важно не только обучать специалистов, но и формировать культуру цифровой грамотности среди широких слоев населения, чтобы технологии воспринимались как инструмент повышения качества жизни, а не как источник рисков.

Особое значение имеет международное сотрудничество: участие в глобальных исследовательских проектах, обмен опытом с ведущими центрами ИИ и интеграция в мировые технологические цепочки. Это позволит Казахстану не только адаптировать лучшие практики, но и предлагать собственные решения, учитывающие национальные особенности.

Таким образом, стратегический курс на развитие ИИ должен сочетать технологическую модернизацию с социальным измерением — укреплением доверия, повышением инклюзивности и созданием условий для равного доступа к цифровым возможностям. Только при таком подходе искусственный интеллект станет фактором устойчивого развития и конкурентоспособности страны в глобальном масштабе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. «Казахстан в эпоху искусственного интеллекта: актуальные задачи и их решения через цифровую трансформацию» – ИПС «Әділет» https://adilet.zan.kz/rus/docs/K25002025_1
2. Концепция развития искусственного интеллекта на 2024–2029 годы <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2400000592>
3. Об утверждении Концепции развития искусственного интеллекта на 2024–2029 годы – ИПС «Әділет» <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2400000592>
4. Государственные программы развития науки и образования Tech Orda 2025 - Образовательная программа для IT
5. Зачем Казахстану отдельный закон об искусственном интеллекте <https://www.inform.kz/ru/zachem-kazahstanu-otdelniy-zakon-ob-iskusstvennom-intellekte-otvet-deputata>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18194129>

ASSESSMENT METHODS IN THE ENVIRONMENTAL IMPACT

HUSEYNOVA NURAY ELMAR QIZI

Master of Azerbaijan University of Architecture and Construction,
Azerbaijan, Baku

Abstract: *The application of modern methods in environmental impact assessment primarily involves the process of Environmental Impact Assessment (EIA) and is an integral part of each project documentation. This procedure should be carried out before the start of the project, and if the results of the environmental impact will have a significant negative impact, the project as a whole may be revised or canceled. In accordance with the EIA, the list of environmental protection measures (EPM) is regulated by the legislation of the Republic of Azerbaijan. The article discusses modern practice in the preparation of EIA and EMP documents and provides a brief description of the content of its articles.*

Key words: *assessment, environmental impact legislation, atmosphere pollution, production sharing agreements, damage, environmental audit*

Introduction.

Environmental impact assessment (EIA) is an integral part of the project documentation. This procedure usually carried out before the start of the any project. If the results of the environmental impact will have a significant negative effect, the project can be corrected or canceled altogether. The environmental impact assessment is carried out after assessment of the modern state of the environment including engineering and environmental surveys, taking into account the list of measures for environmental protection (LMEP) in accordance with the of the legislation of Azerbaijan Republic on environment [1-4]. This documents contains environmental information including information on emissions, discharges and waste disposal, impact on wildlife, vegetation and others. In addition to the above, the impact on indigenous and small peoples is being studied, located in the project area. The list of enterprises aimed at reducing the negative impact is given. Special attention is paid to the program of industrial ecological monitoring, the list and calculation of costs for the realisation of environmental protection measures and compensation payments.

There is also should be a graphical part in the list of environmental protection measures (LEPM), in which it can be presented: the situational plan (schematic map) of the area of the territory, schematic maps and summary tables with the results of calculations of the atmosphere pollution, the location of surface water bodies, groundwater intakes, etc.

This article dedicates to the modern practice of the preparation of the documents on environmental impact assessment and list of environmental protection measures . It should be noted the difference in terms of the EIA and LEPM. Environmental impact assessment- EIA is a type of activity for identification, analysis and accounting of direct, indirect and other environmental effects of the planned economic and other activity in order to make a decision on the possibility or impossibility of its implementation. LEPM the list of activities for environmental protection - a section of the project documentation containing the results of the environmental impact assessment.

An important requirement in the implementation of projects is to inform the public about the results of the impact assessment, as well as assessment of damage and payments for pollution of environmental components: the necessary information is contained in the list of environmental protection measures.

An initial stage assessment of the impact on the environment.

Before assessing environmental impacts and their effects on the environment, it is necessary to have a good understanding of the territory in which they occur - in all its natural and socio-economic diversity. If we draw parallels with medicine - it is impossible to treat the patient and even to carry out prevention, not knowing the features of his body, previously suffered and chronic diseases. This task is solved by the procedure of assessment of the current state of the environment (ACSE) in the framework of engineering and ecological surveys.

The assessment of the current state of the environment is the first and one of the most important procedures in the environmental coordination of construction projects, field development and other types of development. Phasing of works on ecological support of projects is shown in Fig. 1.

The purpose ACSE - assessment of the current state of the environment and social environment of the object for subsequent development of estimates of environmental impact as part of the initial and current design documentation, including part of the feasibility study of production sharing agreements.

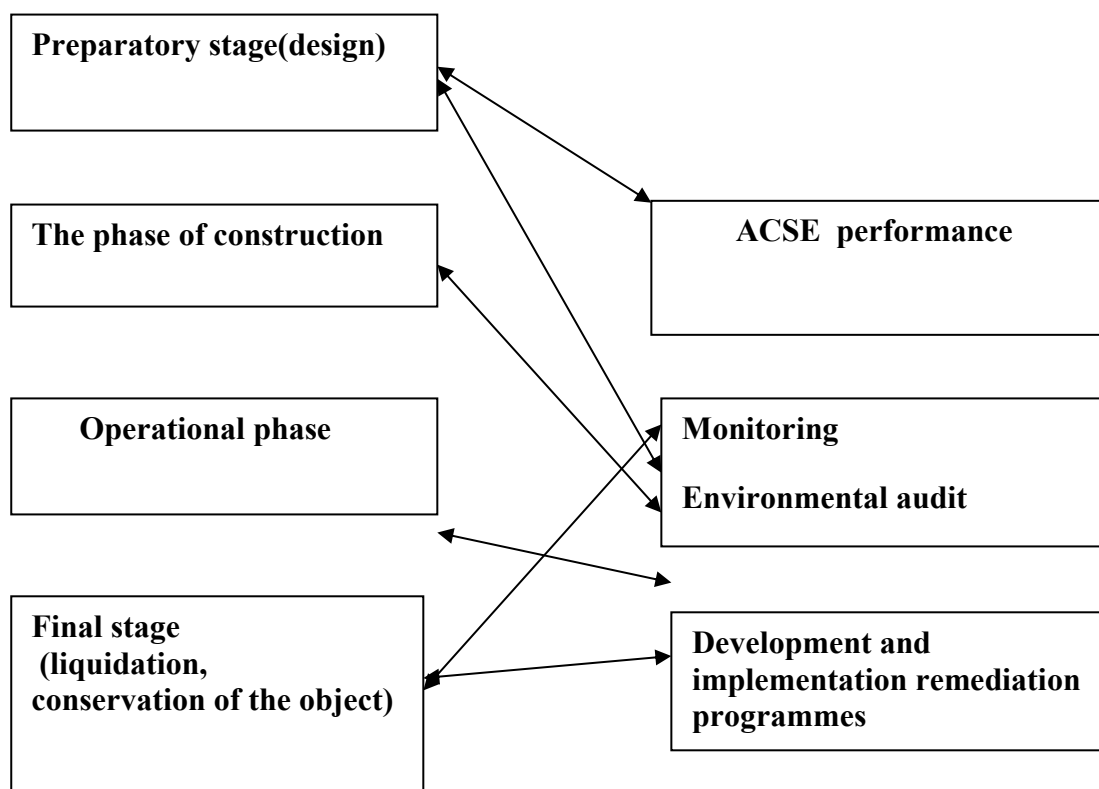


Fig. 1. The stages of development of the territory and environmental support projects.

Tasks ACSE:

- component characteristics of the natural environment of the object (relief, water, soil, vegetation, etc.);
- assessment of pollution levels of environment components;
- creation of a geographic information system (GIS) and additional cartographic materials on the territory of the object;
- overall assessment of disturbance of operating systems, including the complex characteristics of the available technological areas;

- characteristics of the social environment, including the preservation of indigenous peoples' traditional environmental management;
- development of preliminary environmental recommendations.

It should be noted, that ACSE should provide detailed component environmental characteristics of the affected object, including natural and socio-economic components. This is the background against which the planned impact, an inventory of the territory's nature will be imposed. At the same time, it is important to assess not only the state of natural ecosystems, but also the level of their existing anthropogenic transformation as a result of previous economic activity. Based on the information obtained during the process of ACSE and its analysis, further environmental support of development projects is carried out EIA, which allows to calculate the possible damage to the environment caused by economic activity, and to develop ways to minimize it, as well as to carry out an environmental audit of the object and monitoring the state of the environment on the territory of the object. After completion of operation of the facility, it is necessary to carry out reclamation activities on the basis of the current state of the environment territory in order to restore the environment as much as possible, bringing it closer to the original background state, which was recorded in ACSE.

The methodology and sequence of work on ACSE.

The general questions of carrying out ACSE are regulated by legislation of Azerbaijan Republic on environment [1] and also other normative documents.

The work on the ACSE is a complex set of ecological, geographical, biological, ethnosocial, economic and ecological-economic, as well as many other types of research aimed at creating a highly informative "portrait" of the territory, which will be affected by this or that man-made impact. It is most often impossible to perform the whole complex of similar works on a large territory by the forces of one organization. In addition, the task of drawing up the ACSE and subsequent EIA is complex, it includes both scientific research and engineering and environmental surveys, legal support, cartography, environmental and economic assessment and, finally, the preparation of reporting materials submitted to the Supervisory authorities also requires knowledge and compliance with a number of procedures and regulations.

Usually we consider a variant of carrying out ACSE with the complex field work. In this case, we can select the following steps: 1. Preliminary laboratory stage; 2. field stage and 3. stage-preparation and execution of reporting materials.

The preliminary phase lays the Foundation for the work, the quality of which greatly simplifies the labor-intensive and costly field work and improves its efficiency. In the process of field work, it is important to observe the correct geographical reference of the collected data, it is advisable to use satellite positioning devices (GPS) and current topographic maps and satellite images prepared at the first stage. The final stage-preparation and execution of reporting materials includes: text descriptions of the background characteristics of environment, thematic mapping in the geographic information system (GIS) format, laboratory analysis of samples, development of photographic photoplates and descriptions of disturbed and threatened areas, preparation of the final report, finalization of the reporting materials in accordance with the customer's comments. It is necessary noted, that a wide range of initial data should be used in the development of ACSE. Mostly, their collection is at a preliminary stage. The main sources of initial data for the development of ACSE are: design materials for the construction (arrangement) of the object for which the ACSE is developed, stock and literary data, cartographic materials, earth remote sensing data, information on the Internet.

Conclusion.

The paper presents the main provisions of the environmental impact assessments, it is considered stages. This article studies interdisciplinarity is considered in it topics, including geography, Geology, soil science, biology, chemistry. And all this must be considered in conducting EIA.

The important role of EIA in projects is due to the fact that when environmental impact of the proposed activity it can have significant negative consequences, this project can be significantly changed, it is possible even to abandon it. It should be taken into account that the cost of failure is high, that is, when the negative impact is underestimated, it is possible to implement a project that can be potentially dangerous for the environment, population and economic activity.

REFERENCES

1. The Constitution of the Azerbaijan Republic of November 12, 1995.
2. The Law of Azerbaijan Republic on the Protection of Environment № 678-IQ 08/06/1999 (some changes in 30/09/2009)
3. The Law of the Republic of Azerbaijan on environmental safety” № 677 08/06/1999 (the last historic section 07/12/2007)
4. Environmental protection and natural resources use to improve the system of standards. Certificate of environmental industries. The main provisions, GOST 17.0.0.04-90 01/07/1990.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18194193>
УДК 669.168

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИИ ИЗ ОГАРКА ХВОСТОВ ЖЕЗКАЗГАНСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ

ТУРГИНБЕКОВ УАЛИХАН БОЛАТБЕКОВИЧ

Магистрант кафедры ТСиМ, Южно-Казахстанский университет им.М.Ауэзова,
Шымкент, Казахстан

КАРАТАЕВА ГУЛЬНАРА ЕРГЕШОВНА

Доцент кафедры ТСиМ, Южно-Казахстанский университет им.М.Ауэзова, Шымкент,
Казахстан

ШЕВКО ВИКТОР МИХАЙЛОВИЧ

Профессор кафедры ТСиМ, Южно-Казахстанский университет им.М.Ауэзова,
Шымкент, Казахстан

Аннотация. В статье приведены результаты исследований влияние температуры и количества железа на получение ферросилиция из огарка хвостов Жезказганской обогатительной фабрики методом компьютерного термодинамического моделирования. Исследование проведено с применением программного комплекса HSC-6.0 Chemistry, основанного на принципе соотношения минимума энергии Гиббса. Термодинамическое моделирование систем огарок - C-Fe проводилось в интервале температур 500–2000°C и количестве железа 35%, 45%, 55%. Результаты исследований показали, что в системах при $\geq 1300^\circ\text{C}$ формируются силициды железа FeSi, Fe₃Si; при 2000°C и количества железа 55 % Fe общая степень перехода кремния в ферросплав составляет максимально 80,7%. Ферросилиций марки FeSi45 (41,9-46,9% Si) образуется при 1700-1800°C и 35% Fe, марки FeSi25 (27,5%) при 1600°C и 55% Fe.

Ключевые слова: хвосты обогащения, огарок, термодинамическое моделирование, температура, ферросилиций.

В настоящее время в Республике Казахстан накоплено более 31,6 млрд. тонн промышленных отходов, при этом ежегодный прирост составляет около 1 млрд тонн [1]. Значительная доля этих объемов приходится на хвосты обогащения руд горно-металлургического комплекса. В процессе первичного обогащения руд цветных металлов до 95–98% исходной горной массы переходит в отвалы в виде хвостов, с которыми теряется до 40% ценных металлов, извлекаемых из недр [2].

В мировом масштабе ежегодное количество хвостов обогащения увеличивается приблизительно на 80–85 млн. тонн. В Казахстане только на двух крупнейших обогатительных фабриках накоплено около 1 млрд. тонн хвостов обогащения:

- Жезказганской обогатительной фабрике – приблизительно 400 млн. тонн;
- Балхашской обогатительной фабрике – приблизительно 600 млн. тонн.

Хвосты, в частности Жезказганской обогатительной фабрики, относятся к категории техногенных минеральных образований (ТМО) ландшафтного типа [3].

Несмотря на наличие определенного опыта в области переработки лежалых хвостов (например, методы дофлотации, выщелачивание) [4-8], в Казахстане проблема их комплексной и рентабельной утилизации до настоящего времени сохраняет высокую актуальность. Поэтому хвосты обогащения становятся потенциальным сырьем не только в цветной металлургии (медная отрасль), но и в черной металлургии, для производства ферросплавов [9].

Основной целью исследования является влияние температуры и количество железа при получении ферросилиция из огарка хвостов Жезказганской обогатительной фабрики.

Для исследования использовали метод термодинамического моделирования с применением программного комплекса HSC-6.0 Chemistry, разработанного финской металлургической компанией Outokumpu который, опираясь на принцип минимума энергии Гиббса, позволяет оценить равновесное влияние температуры, давления и состава исходного сырья на распределение элементов между реакционными продуктами [10].

Алгоритм расчета равновесной степени распределения элементов (α , %) по продуктам взаимодействия разработан ранее ППС в ЮКГУ им. М. Ауезова [11].

Ранее нами проведены исследования извлечения цветных металлов в хлоридные возгоны из хвостов Жезказганской обогатительной фабрики [12]. Полученный огарок в процессе хлоридовозгонки возможно использовать при выплавке ферросилиция. В работе использовали огарок хвостов обогащения, основными компонентами которых являлись: 68,78% SiO_2 , 13,82% CaSiO_3 , 5,27% MgSiO_3 , 7,55% Al_2O_3 .

Для получения ферросилиция нами определялось влияние температуры и количества железа в системе огарок - C - nFe (при n=35, 45, 55 % Fe от массы огарка хвостов) из огарка хвостов Жезказганской обогатительной фабрики.

На рисунке 1 приведена информация о влиянии температуры и количества железа на равновесную степень распределения кремния, железа и алюминия в исследуемой системе при содержании железа 35 %. Из рисунка видно, что по кремнию при $T=500^\circ\text{C}$ в системе произошло образование соединений SiO_2 , CaSiO_3 , Al_2SiO_5 , FeSiO_3 , MgSiO_3 . При 1300°C в системе начинается образование FeSi и Fe_3Si , а при 1600°C - FeSi_2 , $\text{FeSi}_{2,33}$ и газообразный SiO(g) . Затем, при высокой температуре, формируются силициды FeSi_2 , $\text{FeSi}_{2,33}$, $\text{FeSi}_{2,43}$. Причем образование силицидов железа, элементного Si и газообразного SiO(g) происходит из SiO_2 и при высокой температуре восстановление из силикатов железа, алюминия, магния и кальция.

Так, степень перехода кремния в FeSi с повышением температуры увеличивается до максимума 47,04% при 2000°C . Максимальный переход кремния в силициды Fe_3Si , FeSi_2 , $\text{FeSi}_{2,33}$, $\text{FeSi}_{2,43}$ составляет соответственно 2,18% (1500°C), 1,25% (1800°C), 1,24% (1800°C), 0,13% (1800°C).

При 500°C железосодержащими основными веществами являются элементное железо 92,69% Fe и его силикат 6,293% FeSiO_3 . Видно, что образование силицидов происходит из Fe и FeSiO_3 при $T \geq 1200^\circ\text{C}$. Так, при $T \geq 1200^\circ\text{C}$ железо начинает переходить в силициды железа 0,18% FeSi и 0,36% Fe_3Si . С повышением температуры степень перехода железа в FeSi повышается и доходит до максимума 89,36% при 1800°C , далее незначительно уменьшается при 2000°C (88,29%). Степень перехода железа в Fe_3Si при 1500°C достигает максимума и составляет 12,27%, далее с повышением температуры при 1800°C полностью исчезает. В системе наблюдается незначительное образование силицидов железа, максимальная равновесная степень распределения которых составляет для FeSi_2 1,11% (1700°C), для $\text{FeSi}_{2,33}$ 1,0% (1800°C), для Fe_5Si_3 0,86% (1600°C), для $\text{FeSi}_{2,43}$ 0,31% (1800°C). При 1100°C железо максимально переходит в элементное железо - 99,71% Fe.

Алюминий при 500°C переходит в соединения Al_2SiO_5 - 66,93% и Al_2O_3 - 33,05%. Степень перехода $\text{Al} \rightarrow \text{Al}_2\text{SiO}_5$ с ростом температуры уменьшается, это связано с переходом его в Al_2O_3 , Al и газообразный Al(g) . При повышении температуры до 1800°C степень перехода алюминия в Al_2O_3 максимальный - 88,433%, далее понижается до 57,22% при 2000°C . При $T \geq 1700^\circ\text{C}$ алюминий находится в форме элементного состояния, максимум его составляет 37,88% при 2000°C . Алюминий газообразный Al(g) образуется при 1900°C , максимальный переход его составляет 4,44% (2000°C).

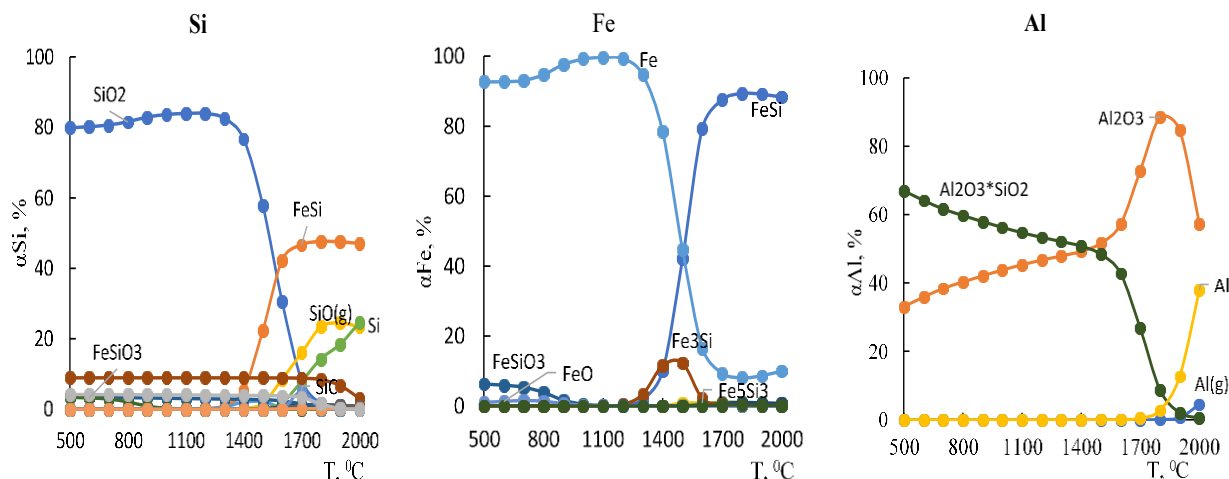
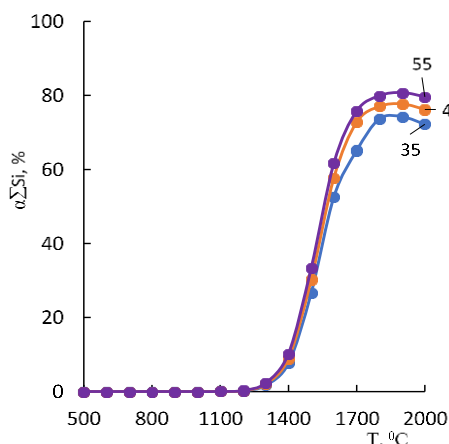


Рисунок 1- Влияние температуры и количества железа на равновесную степень распределения кремния, железа и алюминия в системе
 огарок - C– 35Fe

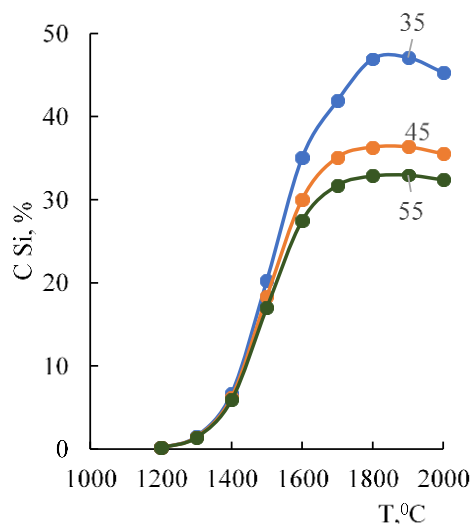
На рисунке 2 представлено влияние температуры и количества железа (35, 45, 55 % Fe) на общую степень извлечения кремния в ферросплав в системе огарок - C– nFe.



Цифры у линий – количество железа 35%, 45%, 55% от массы огарка
 Рисунок 2 - Влияние температуры и количества железа на общую степень перехода кремния в ферросплав в системе огарок - C–Fe,

Из рисунка 2 видно, что степень перехода в ферросплав с повышением температуры увеличивается. С повышением температуры общая степень перехода кремния в сплав увеличивается. Повышение количества железа от 35% до 55% в системе огарок - C– nFe на степень перехода кремния в ферросплав оказывает положительное влияние. Так, максимум образования ферросплава составляет 80,76% при 2000⁰С и количества железа 55%.

Данные по влиянию температуры и количества железа на концентрацию кремния в ферросплаве системы огарок - C– nFe (n=35, 45, 55 % Fe) приведены на рисунке 3, в температурном интервале 1200-2000 ⁰С. Видно, что с увеличением количества железа 35 - 55 % в системах и с повышением температуры концентрация кремния уменьшается. Так, при 35 % Fe концентрация кремния увеличивается до максимума 47,104% при 1900⁰С. По ГОСТу [13] формирующийся ферросплав при 1700-1800 ⁰С можно отнести к ферросилицию марки FeSi45 с концентрацией кремния 41,9-46,9%, а при 1600⁰С и количества железа 55% к марки FeSi25 с концентрацией кремния 27,5%.



Цифры у линий – количество железа 35%, 45%, 55% от массы огарка

Рисунок 3 - Влияние температуры и количества железа на концентрацию кремния в сплаве системы огарок - C– Fe

Результаты исследований по термодинамическому прогнозированию взаимодействия огарка с углеродом и железом, показали, что:

- кремний в системе огарок - C– Fe при температуре $\geq 1300^{\circ}\text{C}$ образует силициды железа FeSi , Fe_3Si переходящие в сплав;
- общая степень перехода кремния в ферросплав с повышением температуры и количества железа возрастает при 2000°C (55 % Fe) составляя 80,8%;
- установлено, что при $1700\text{--}1800^{\circ}\text{C}$ и 35% железа образуется ферросилиций марки FeSi45 содержащий 41,9-46,9% Si, а при 1600°C и 55% железа - марки FeSi25 (27,5%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. https://egov.kz/cms/en/articles/ecology/waste_reduction_recycling_and_reuse
2. Голик В.И., Поляков А.В. Современные технологии извлечения металлов из хвостов обогащения и переработки руд с целью их комплексного использования // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2016. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-tehnologii-izvlecheniya-metallov-iz-hvostov-obogascheniya-i-pererabotki-rud-s-tselyu-ih-kompleksnogo-ispolzovaniya>
3. Байбатша А.Б. Минералогия хвостов Жезказганской обогатительной фабрики. Алматы: Асыл кітап.- 2018.- 160с.
4. Голик В.И. Инновационные технологии комплексного использования хвостов обогащения переработки руд / В.И. Голик, В.И. Комащенко, В. С. Моркун // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг,- 2015. – Вип. 39. – С. 68–72. URL: ds.knu.edu.ua
5. Чантурия В.А., Маслобоев В.А., Суворова О.В., Васильева Т.Н., Макаров Д.В., Миненко В.Г. Обоснование технологий переработки и снижения экологической опасности отходов горных предприятий: основные результаты и перспективы научного сотрудничества // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2022. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-tehnologiy-pererabotki-i-snizheniya-ekologicheskoy-opasnosti-othodov-gornyh-predpriyatiy-osnovnye-rezultaty-i>
6. Бейсебаева А.С., Жарылкан С.М., Есжан Е.Н.и др. Методы переработки отходов горно-металлургической промышленности // Горный журнал Казахстана. - 2024.- №9 (233). - С. 59-65. DOI: 10.48498/minmag.2024.233.9.002.
7. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения: Учебник. – М.: Изд-во «Горная книга». - 2016. -595с.
8. Булаев А.Г., Меламуд В.С. Биовыщелачивание цветных металлов из отходов обогащения // Международный научно-исследовательский журнал. – 2018. - №12(78), Часть 1. - С.63-70. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.78.12.011>
9. Шевко В.М., Каратаева Г.Е., Сержанов Г.М., Бадикова А.Д., Абжанова А.С. Комплексная переработка хвостов Балхашской обогатительной фабрики. Biosci Biotech Res Asia 2015; 12(3). DOI: <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1918>
10. Удалов Ю.П. Применение программных комплексов вычислительной и геометрической термодинамики в проектировании технологических процессов неорганических веществ. -СПб.: СПбГТИ(ТУ). - 2012. - 147с.
11. Шевко В.М., Сержанов Г.М., Каратаева Г.Е., Аманов Д.Д. Расчет равновесного распределения элементов применительно к программному комплексу HSC-5.1. Программа для ЭВМ. -Шымкент. - 2019. -5,4Мб.
12. Тургинбеков У.Б., Каратаева Г.Е., Шевко В.М. Извлечение цветных металлов из хвостов жезказганской обогатительной фабрики хлоридовозгоночным методом // Вестник науки южного Казахстана. - 2025.- №2(30). – С.175-181.
13. ГОСТ 1415-93 - Ферросилиций. Технические требования и условия поставки.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18194202>
УДК 547.9

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ НА ОСНОВЕ УГОЛЬНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАНА

ЭМОМОВ БАХРОМ ФАЙЗУЛОЕВИЧ

к.т.н., председатель профсоюза Таджикский энергетический институт
Республика Таджикистан, г Бохтар

Аннотация: В данной статье приведены результаты исследования технологии получения гуминовых кислот на основе угольных ресурсов Республики Таджикистан. Как известно, уголь является не только источником энергии, но и полезным ископаемым, может быть использован в качестве сырья для производства ряда материалов и изделий. Согласно предложенному алгоритму, подготовка угольного сырья включает измельчение проб до размера частиц 0,1–0,3 мм с использованием лабораторной мельницы малого или среднего типа. Такой размер зерна обеспечивает оптимальное разделение структурных компонентов угля и повышает эффективность дальнейших экстракционных процессов.

Ключевые слова: Уголь, гуминовые кислоты, бензол, фенол, толуол, нафталин, пиридин.

Уголь относится к полезным ископаемым, энергетическая ценность которых значительно превышает запасы других источников топливной энергии. Общие запасы угля в мире оцениваются более чем в 14,81 трлн тонн. Основными производителями являются Россия (4,45 трлн тонн, в том числе 5,58 трлн тонн в странах СНГ), США (3,6 трлн тонн), Китай (1,46 трлн тонн), Австралия (0,783 трлн тонн), Канада (0,547 трлн тонн), Германия (0,336 трлн тонн), ЮАР (0,206 трлн тонн), Великобритания (0,189 трлн тонн), Польша (0,174 трлн тонн), Индия (0,125 трлн тонн), а также другие страны, обладающие 1,81 трлн тонн угля.

По данным Главного геологического управления Таджикистана, запасы угля в Таджикистане оцениваются более чем в 0,0043 триллиона тонн. Как известно, уголь является не только источником энергии, но и полезным ископаемым, может быть использован в качестве сырья для производства ряда материалов и изделий. Использование угля в качестве сырья в химическом производстве не только даёт положительный импульс мировой экономике, но и может способствовать улучшению экологической обстановки на планете Земля и сокращению количества парниковых газов в атмосфере.

Одним из приоритетных направлений производства органических веществ на основе угля является выделение гуминовых кислот из угля, поскольку эти соединения имеют широкое практическое применение. Использование угольных ресурсов Республики Таджикистан для производства гуминовых кислот может внести значительный вклад в достижение национальной стратегической цели – индустриализации страны.

В связи с этим разработка перспективных технологий получения гуминовых кислот на основе угольных ресурсов Республики Таджикистан является важной и актуальной задачей для отечественной науки и производства.

Одним из приоритетных направлений развития экономики Таджикистана является индустриализация страны, в которой эффективное использование природных ресурсов играет чрезвычайно важную роль.

Таджикистан располагает крупными запасами угля, на территории республики выявлено более 36 месторождений и проявлений угля, охватывающих практически все виды этого полезного ископаемого [1-2].

Здесь важно отметить, что в настоящее время угленосные районы Таджикистана изучены неравномерно и в целом неполно. При этом химический состав углей Таджикистана практически не изучен.

Анализ показал, что гуминовые кислоты не имеют определённой структуры. Эти природные соединения имеют полиструктурную форму. Гуминовые кислоты содержат несколько функциональных групп. Наличие в молекуле гуминовых кислот функциональных групп -COOH, -OH, -CO и ароматических фрагментов обуславливает их активное участие в ионных, донорно-акцепторных и гидрофобных реакциях.

Гуминовые кислоты способны образовывать комплексные соединения с ионами металлов и некоторыми органическими веществами. Описание химических свойств функциональных групп гуминовых кислот представлено в таблице 1.

Таблица 1. Химические свойства функциональных групп гуминовых кислот

Функциональные группы	Вид воздействия
COOH	Обмен ионами
CA - OH	Комплекс образование
$>C = O$	Окисление – восстановление
C_6H_6	донор - акцептор
CH_n	Гидрофобное воздействие

После изучения морфологии, структурных особенностей и химической активности гуминовых кислот было проведено исследование их содержания в ряде угольных образцов, характерных для месторождений Таджикистана. Для последующей разработки эффективной технологии выделения гуминовых кислот в качестве сырьевой базы были отобраны угли месторождений Хаками, Шуроб, Назар-Айлок, Фон-Ягноб, Зидди, Сайёд, Санги-Танг и Куртегин. Эти месторождения различаются по термогенности, степени углефикации и содержанию органических фракций, что позволяет более полно оценить потенциал их переработки.

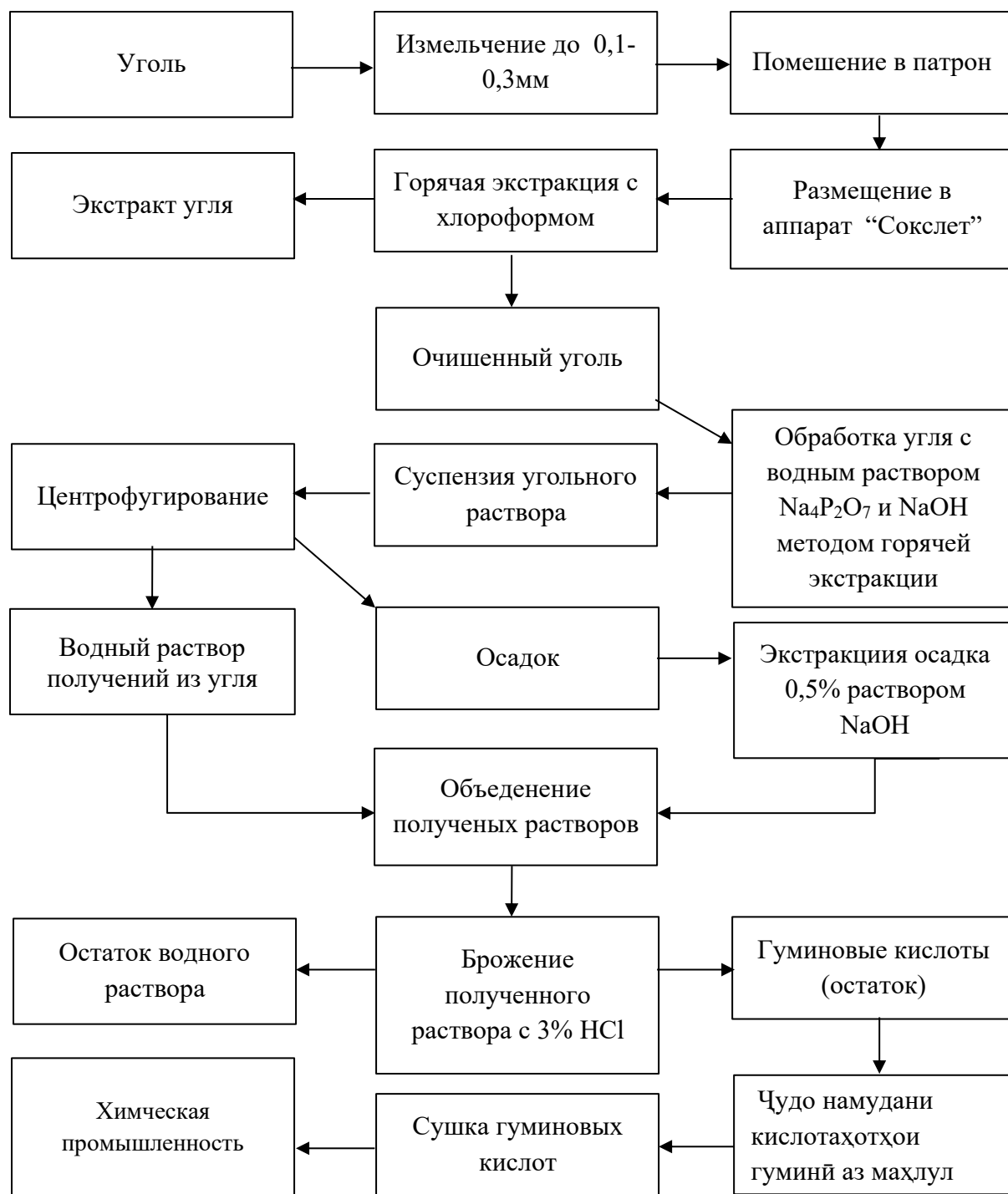


Рис 1. Техника и технология получения гуминовых кислот из исследуемых углей

Проведённые экспериментальные исследования позволили разработать технологическую схему получения гуминовых кислот, представленную на рисунке 1. Согласно предложенному алгоритму, подготовка угольного сырья включает измельчение проб до размера частиц 0,1–0,3 мм с использованием лабораторной мельницы малого или среднего типа. Такой размер зерна обеспечивает оптимальное разделение структурных компонентов угля и повышает эффективность дальнейших экстракционных процессов.

Одним из ключевых отличий предложенного метода от существующих аналогов является применение предварительной экстракции сырья в аппарате Сокслета, оснащённом обратным холодильником. В качестве экстрагента выбран бензин марки АИ-96, что обусловлено его технологической доступностью и значительно более низкой стоимостью по сравнению с традиционными органическими растворителями — хлороформом, бензолом, этилацетатом, гексаном и гептаном. Применение бензина позволяет эффективно удалять из угольного порошка каменноугольную смолу, ряд фенольных соединений и углеводородные фракции, что способствует увеличению относительного содержания гуминовых кислот в обработанном материале.

Результаты анализа показали, что гуминовые кислоты, содержащиеся в исследуемых углях, практически нерастворимы в воде, однако их соли натрия характеризуются высокой растворимостью. На основании данного свойства в технологическую схему включена обработка угольного порошка растворами гидроксида натрия (NaOH) и пирогената натрия ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$). Эта стадия способствует переходу гуминовых кислот в растворимую форму — натриевые соли, что упрощает их выделение из смеси.

Далее полученный щелочной раствор подкисляется 3-процентным раствором соляной кислоты (HCl). В условиях изменения pH гуминовые кислоты переходят в нерастворимое состояние и выпадают в осадок, что позволяет эффективно отделить их от раствора. Общая последовательность операций представлена на рисунке 1, где отражена методика определения массовой доли гуминовых кислот в исследуемых угольных образцах.

В результате выполнения комплекса научно-исследовательских и лабораторных работ разработана новая технологическая схема получения гуминовых кислот из углей месторождений Хакими, Шуроб, Фон-Ягноб, Назар-Айлок, Зидди, Куртегин, Сайёд и Санги-Танг. Установлено, что данная технология демонстрирует высокую эффективность, превосходя существующие методы по показателям выхода продукта, качеству выделенных гуминовых кислот и экологической безопасности процесса. Дополнительным преимуществом является использование местного угольного сырья, что делает технологию экономически выгодной и полностью ориентированной на национальные ресурсные возможности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнюк Л.А. Алкооксильные производные гуминовых веществ: синтез, строение сорбционных свойства диссерт. на соискание. учен. степени кандидат. хим. наук. - Москва, -2008. -177 С.
2. Орлов Д.С. Свойство и функции гуминовых веществ В сб: Гуминовые вещества в биосфере. -М.: Наука, -1993. -298 с.
3. Rachid M.A. Geochemistry of marine humic compounds. Springer - Verlag, -Oxford, -1985. - 243P.
4. Crespilho F.N., Zucolotto V., Siqueira J.R., et.al. Immobilization of humic acid in nanostructured layer-by-layer films for sensing applications. Environ. Sci. -Technol. -2005. - №39. -P. 5385-5389.
5. Prado A.G.S., Miranda B.S. Interaction of indigo carmine dye with silica modified with humic acids at solid/liquid interface. Surf. Sci. -2003. -V. 542. -P. 276-282.
6. Касаточкин В.И., Ларина И.К., Егорова О.И., Общие черты строения и свойства гуминовых веществ торфа и ископаемых углей. Журн. приклад. химии. -М.: -1965. -Т. 38. -С. 86-89.
7. Кононова М.М. Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. -М.: -1963. - 350 С.
8. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. - М.: -1990. - 231С.
9. Морозов А.Я., Самойлова Е.М. О методах математического моделирования динамики гумуса. Почвоведение. -1993. -№ 6. -С.111-116.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18194220>

ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF A ROBOTIC ARM

HUSEYNOVA AYGUN, MAMMADZADEH MAHAMMAD

Azerbaijan State Oil and Industry University

Key words: *robotic arm, control system, mechanical design.*

General statement of the problem. This project served as a useful training ground for creating a more advanced version of the anthropomorphic manipulator. The initial model had numerous shortcomings that needed to be addressed.

Today, there are a wide variety of upper limb prostheses available. Their main manufacturers include Motorika (Russia), Bebionic (UK), Ottobock (Germany), Touch Bionics (UK), and many others. On the Motorika website, you can find a division of prostheses by purpose into two main groups: cosmetic and functional. The primary function of a cosmetic prosthesis is to recreate the appearance of a human hand. Functional prostheses, on the other hand, provide grip and are classified according to the control mechanism: working, traction (active, mechanical), and myoelectric (bioelectric, bionic).

Obviously, the cost of cosmetic prosthetics is lower than the cost of bionic prosthetics, but it starts at \$1,000. The cost of bionic prosthetics is significantly higher.

Currently, the main challenges in upper limb prosthetics are the high cost and complexity of the devices. While the first problem can be addressed by adjusting the balance between the quality and reliability of materials, the second problem is currently not easily resolved. This is due to the need for an individualized approach to each patient.

Construction and principle of operation. This paper presents experience in developing electromechanical hand components. The study analyzed several types of mechanical designs for bioelectric prostheses: those using threaded traction, those operating on a worm gear for linear motion, similar piston-type drives, and those of a mixed type.

A bioelectric hand model with actuators on all fingers was chosen for the project because it is more functional, reliable, and capable of performing various grips, such as a pinch grip, whereas conventional prostheses only have a physical appearance. The finger design from a poster by the St. Petersburg Polytechnic University served as the basis.

Let's examine its mechanical design. The principle of a traction motor for each finger was adopted to improve the device's technical characteristics and versatility. Figure 2 shows a model of one part of the hand, the elements of which will comprise the device.

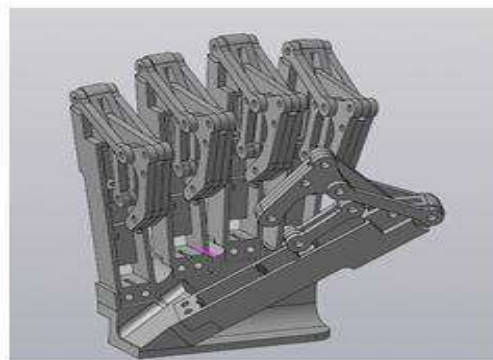
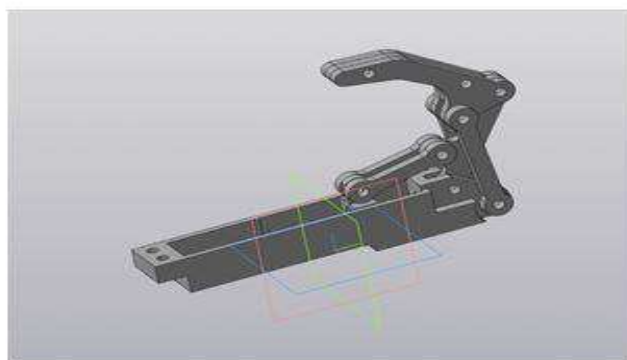


Figure 1. 3D model of a part of a bioelectric prosthesis

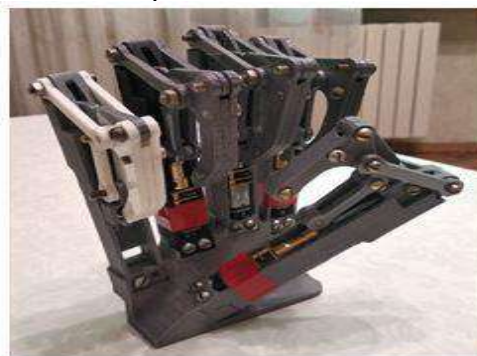


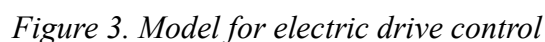
Figure 2. Designed and manufactured part of the hand prosthesis

This design is designed to support heavy loads without relying on an electric motor, but rather on its own construction. A worm gear secures the object and prevents it from falling out, while the chosen design allows the drive motor to be disengaged and the object to be held in place. This saves energy and increases the device's operating time during long-term autonomous operation. This can be further enhanced by replacing the plastic parts with a specific metal alloy to strengthen the structure and reduce play between components.

Control system and performance characteristics. Next, we needed to implement the control system for the structure. For this, the STM32F4Discovery board was chosen because of its powerful processor, numerous timers, and numerous I/O pins. The control system was implemented in the MATLAB Simulink software environment, and the Wajung library was added to work with the STM32F4Discovery. This decision was made because this environment allows for quick creation of a working program from function blocks and their configuration in a short time.

Using the MATLAB Simulink Wajung software environment, a program for controlling the drive was developed. It controls the motor shaft position, and therefore the pin bending.

The following blocks were used to create the circuit: UART5_target, PWM_Digital, Volatile Data Storage Read, and Encoder Read. The UART5_target block receives four control signals: three PID controller coefficients and a setpoint signal measured in degrees. This signal is then sent to the PID controller, where the displacement is regulated. The PID controller outputs a signal from 0 to 100, which corresponds to 0 V and the nominal voltage. Next, the PWM_Digital block creates a PWM control signal, which requires two setpoint signals to control the motor. The first signal is the PWM, which is responsible for the signal "filling," and the second for the direction of motor movement (forward, reverse). The Volatile Data Storage Read block reads the variable from the task1 buffer, which is the motor shaft position setpoint signal (in degrees). Encoder Read is a block that reads the motor rotation angle and also provides displacement feedback and is measured in degrees.



ОФ “Международный научно-исследовательский центр “Endless Light in Science”

Position control is achieved by setting a precise motor shaft rotation angle between 0 and 10,800 degrees. This signal is converted, scaled, and fed to the control system as the rotation angle. Figure 3 shows position processing when specific rotation angles are set, where the Task1 graph represents the angle set, and Enc represents its motor response. It is clear that the position is processed virtually without error, and the signal response time is very short, equal to 0.03-0.08 seconds.

As Figure 8 shows, at the beginning of the Task1 signal, the motor cannot immediately respond to the signal. To facilitate faster response, the PID controller increases the reference gain stepwise to its maximum value. This is evident from the response of the full-scale component of the PID controller (PIDs), while the integral component follows the full-scale signal curve, but in a smoother form. As the motor position approaches the reference, the PID controller reduces the gain. Its value goes into the negative and then increases due to the fact that the Enc signal has slightly over-processed or under-processed the task and the regulator is trying to correct this.

Conclusions

1. In this work, a robotic hand was developed that simulates the movements performed by an operator wearing a touch-sensitive glove.

2. This hand is used as a prototype for the creation of humanoid robots, remote control systems for hard-to-reach areas and hostile environments, and prosthetics.

This work explored the creation of electromechanical prostheses, and developed and implemented a portion of the bionic hand. The design [10] under study was improved and recreated. A program was written to control the finger bending position. Initial testing of the device was conducted, and conclusions were drawn based on these tests.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18194386>

SOME FEATURES OF AUTOMATIC TOOL CALIBRATION ON CNC MACHINES

FARİD MURADOV

Baku Engineering University , Faculty of Engineering, Department of Automation
Engineering , 5001 , Khirdalan , Azerbaijan

ANAR MAMMADHUSEYNOV

STP Haevy Engineering LLC , Technical Maintenance department , 5001 , Sumgait ,
Azerbaijan

Abstract. *The purpose of this article is to investigate the process of automatic calibration of tools (cutting tools) on CNC machines. Automatic calibration determines the length, diameter and location of the tool with high accuracy through sensors and special measuring systems installed on the machine. This information is transmitted to the system, appropriate adjustments are made in the software, and the tool begins the machining process according to real dimensions. As a result, dimensional deviations are reduced, and the accuracy of product processing increases. Unlike manual calibration, this method saves time and prevents human errors. Also, automatic calibration monitors the level of tool wear and ensures timely replacement. This technology plays an important role in increasing productivity, accuracy and technical reliability on CNC machines.*

Keywords: *Composite material; CNC machines, automatic tool adjustment, toolbox, industry 4.0, automatic precision adjustment*

Introduction

stage of development of modern machine-building industry, the development of this branch of heavy industry is a very important base for the development of other industrial facilities, creating an incentive for their general development in the current situation. One of the most promising and effective methods in this direction is the widespread application of various automatic design systems (ALS), automatic machine tools systems (ADS), etc. This approach is more promising for the application of computer tools in the field of mechanical engineering, which ensures the successful development of leading sectors of the economy. The application of computers in mechanical engineering is carried out mainly in two directions : automation of production processes and - automation of engineering labor . The application of Automatic Design Systems to machining is mainly related to the solution of the following problems: a radical reduction in the development time of new equipment and technology , a significant increase in labor productivity, an increase in the reliability of new equipment, a decrease in material and energy consumption , etc. [1-6, 14-16]. Thus, in a modern production environment, high accuracy and rapid production processes require more efficiency from technological equipment. Correct and timely calibration (adjustment) of cutting tools used in CNC (Computer Numerical Control (CNC)) machines is one of the main factors in this regard. The dimensions, location point and wear level of the tools directly affect the processing accuracy. Since traditional calibration (adjustment) methods are time-consuming, dependent on operator experience and open to human errors, the transition to automated solutions in this area has become necessary. Automatic adjustment systems determine the real dimensions of the tool through sensors and measuring devices installed on the machine and transmit this data to the control system. As a result of this process, the software automatically adjusts the operating parameters of the machine. Thus, both the accuracy of the product increases and possible malfunctions during operation are prevented. This article extensively analyzes the technical principles, application methods and industrial significance of automatic adjustment of tools on CNC machines. As a result of the application of automatic adjustment, the level of tool wear can be determined in time, which allows for optimal planning of tool replacement time. At the same time,

dimensional deviations arising from adjustment errors are eliminated, product quality is increased, and production losses are reduced. Automatic recording and archiving of adjustment data simplifies quality control processes and contributes to the development of digital manufacturing systems within the framework of Industry 4.0 [7-9, 11-13]. Figure 1 shows the automatic tool change in CNC machines. The calibration system (often called a "probe calibration system" or "tool setter calibration kit") used for calibration (adjustment) and checking measurement accuracy is shown [10].



Figure 1. Automatic **calibration of instruments** Calibration system used for (adjustment) and checking measurement accuracy

Now let's explain the function of the numbered parts in the picture: Explanation of the elements in the picture:

- **Calibration probe (Tool Probe / Touch Probe):**

This part is placed on the main rotating tool holder (spindle) of the machine tool. The spherical part (touch ball) at the end allows you to measure coordinates by contacting the spindle. The software determines the position and size of the tool based on these contact points

- **Calibration Block / Master Block:**

The main reference surface used for calibration. The precise contact of the sample with this surface allows the system to determine its "zero point" coordinates.

- **Calibration Bar:**

A reference bar of fixed length used to check the measurement range of a sample and in the calibration process. The dimensions of this bar correspond to precise standards.

- **Mounting Shaft:**

Used to secure the reference block or rod to the machine bed or table. Important for stable and vibration-free measurement.

- **Base Plate:**

Provides a stable, flat surface for mounting the reference block and other parts. It is important for calibration accuracy that the surface is perfectly flat and stable.

- **Mounting Bolts & Clamps:**

Used to secure the entire system to the machine. It is important to ensure that the elements do not move, otherwise the calibration results may be incorrect.

2. Section

Accurate determination of tool length in CNC machines is one of the factors that directly affects the accuracy of the machine and the quality of the product. In traditional methods, these measurements were performed manually by the operator, which was open to human errors, as well as causing time loss and calibration errors. To overcome these shortcomings, tool length measurement sensors - tool setters - are widely used in modern CNC systems. Tool setters are high-precision sensors that automatically determine the length of the tool by sending a signal when it comes into contact with the tip. The structure of these devices usually includes a contact disk, a pneumatic cleaning system and a signal transmission mechanism. After the tool is changed, the system measures the distance between the tip of the new tool and the sensor and enters this

information into the CNC program. Thus, a separate and accurate compensation value is determined for each tool. The main parts of the device include the following:

1. **Contact disc (top gold cap)** : Contact is made when the tool touches this surface.
2. **Housing** : Metal housing for mechanical stability and sensor protection.
3. **Pneumatic input** : Air pressure connection for cleaning and automatic resetting of the device (blue port in figure 2).
4. **Cable or pipe passage** : For connecting the sensor to the CNC control system. Thanks to this system , the calibration process during tool changes is automated , errors during operation are reduced , and the machine operates with maximum accuracy with minimum downtime . Automatic calibration of instruments and sensor diagnostics are shown in Figure 2.



Figure 2. **Automatic calibration of instruments, sensor** diagnostics

The device depicted in Figure 2 is a "Tool Setter" used for automatic measurement of tool length in CNC machine tools . This device allows the machine tool to automatically measure the length of the new tool after the tool change process and transmit it to the control system. The device shown in the figure is an automatic tool length measurement sensor (Tool Length Setter) used in CNC machine tools. These sensors generate a signal when they come into contact with the tool tip, determine the real length , and transmit this information to the CNC system. Thus, the need for manual measurement by the operator is eliminated and measurement accuracy is increased . Thanks to this technology, operator intervention is minimized, time loss is reduced, machine productivity is increased, and measurement stability is ensured. Tool length sensors act as one of the main components of automatic calibration and play an indispensable role in modern manufacturing processes. As a result, the integration of automatic calibration systems into CNC machine tools acts as one of the main components of technological progress in modern manufacturing processes. This technology not only increases the competitiveness of manufacturing enterprises, but also significantly increases labor productivity and production accuracy. The calibration and operating parameters of tools on a CNC lathe are described in table 1.

Table 1. Calibration **and operating parameters of** CNC tools

No.	Tool name	Cutting speed (m/min)	Operating temperature (°C)
1.	End mill	180	45
2.	Spiral drilling	150	40
3.	Internal spiral	120	60

	<i>drilling</i>		
4.	<i>External turning tool</i>	150	55
5.	<i>Internal turning tool</i>	200	58

● **Cutting speed (m/min):** The rotational/feed speed of the tool at the moment it is in contact with the workpiece.

● **Operating temperature (°C):** The temperature of the tool measured during operation. Excessive heat increases the risk of wear.

● **Calibration type:** The method by which the length or coordinates of the instrument are determined.

● **Automatic monitoring:** Continuous monitoring of the tool by sensors during operation (yes, no).

● **Dimensional deviation:** The difference between the actual dimensions of an instrument after calibration and the intended dimensions.

CNC lathe The actual working process of a cutting tool on a machine tool is shown in Figure 3 [6].

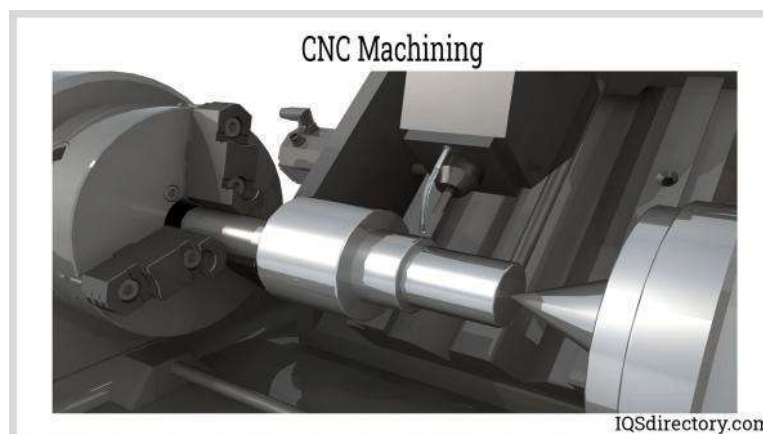


Figure 3. View of the real working process of a cutting tool on a CNC lathe

The CNC lathe, as shown in Figure 3, is used to process rotating parts with high precision. However, to ensure this accuracy, it is important to center the part and position the tool precisely. For this purpose, the calibration of the tools and the chuck is of particular importance. The part is clamped using a three-jaw chuck. If the clamping center of the chuck is not calibrated or has an axial runout, no matter how accurate the tool is, errors will occur during machining. For this reason, the calibration of the chuck and the axis must be checked regularly and must comply with standards [6]. In addition, the cutting tool in the figure performs a shaping operation by touching the part. The length, radial position and zero point of this tool must be determined in advance by the machine using calibration sensors or probe systems. If the calibration is not performed correctly, this will lead to dimensional deviations, surface defects and premature wear of the tool.

1. **Part runout** - Maximum permissible axial deviation: $\leq 0.005 \text{ mm}$
2. **Tool length accuracy** - Actual length difference measured by automatic tool setter: $\pm 0.01 \text{ mm}$
3. **Tool tip radius tolerance:** $\pm 0.005 \text{ mm}$
4. **Chuck clamping force** - Part clamping force: **2–5 kN (varies by model)**
5. **Spindle RPM** - Recommended during calibration: **0–100 RPM** (low speed during contact measurement)

6. Automatic compensation system - a system that automatically applies the measurement difference after calibration (ON/OFF)

7. Instrument adjustment time - Automatic calibration time: **10–30 seconds** (depending on instrument and system)

8. Calibration probe sensitivity - Sensor signal response accuracy: **0.001 mm or less**

9. Workpiece temperature - Before measurement: **20–23°C** (measurement accuracy increases at a constant temperature)

3. Conclusions

Correct and accurate calibration is essential for high-quality and accurate operation of tools on CNC machines. Timely and regular tool calibration minimizes measurement errors, increases accuracy and product quality in the production process. Keeping the technical parameters obtained as a result of calibration under control increases the service life of the equipment and reduces the risk of accidents. At the same time, calibration documentation and compliance with standards ensure the competitiveness of production at the international level by meeting the requirements of industry standards. In the future, the application of automated systems and digital technologies in the calibration process will further increase the accuracy and efficiency of calibration. In general, tool calibration is one of the main factors ensuring the stability and productivity of production systems.

LITERATURE

1. Amirov F. Developing Criterion and optimization of PAL system. Applied mechanics and materials. 2013 Nov 14;379:244-9.
2. Abbasov V, Amirov F, Amirli S, Hasanli S, Frana K. Formation of Shaft Accuracy during Mechanical Processing on CNC Machines. Advances in Science and Technology. 2024 Jun 3;148:81-6.
3. Amirov FG. General provisions of creating adjustable automatic machine systems. Assembly in machine building, instrumentation. 2011(7):44-8.
4. Bashirov RJ, Amirov FG. Method for determining the thermal state of the cylinder sleeve during centrifugal induction sintering. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Machinostroenie. 2022:33-41.
5. Bashirov RJ, Amirov FG. Method for determining the thermal state of the cylinder sleeve during centrifugal induction sintering. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Machinostroenie. 2022:33-41.
6. Amirov FG. Classification of details by size, method of construction of coordinate system details for geometric modeling. News of higher educational institutions. Machine building. 2012(8):32-5.
7. Simon S, Yusubov ND, Amirli SF, Amirov FG. Research of the Dependence of Microhardness on Cutting Modes during Waterjet Treatment of Hardox-500 Chrome-Nickel Steel. Herald of Azerbaijan Engineering Academy. 2024 Dec 30;16(4):27-33.
8. Amirov FG. Some features of increasing the productivity of automatic lines. News of higher educational institutions. Machine building. 2020(9 (726)):18-23.
9. Amirov FG. Optimization of planning decisions of automated machine tool systems. Progressive technologies and machine building systems. 2011(42):11.
10. Simon S, Yusubov N, Amirli S, Amirov F. Planning of Full Factorial Experiments for the Investigation of Roughness in Hydroabrasive Waterjet Cutting of Hardox-500 Steel. Pakistan Journal of Life & Social Sciences. 2024 Jul 1;22(2).
11. Simon S, Yusubov ND, Amirli SF, Amirov FG. Waterjet cutting of HARDOX-500 workpiece. Russian Engineering Research. 2024 Nov;44(11):1572-6.
12. Simon S, Yusubov ND, Amirli SF, Amirov FG. Surface Roughness of Chromonickel Steel after Water Jet Machining: A Full Factorial Experiment. Russian Engineering Research. 2025 Mar;45(3):341-5.

13. Simon S, Yusubov ND, Amirli SF, Amirov FG. Research of the Dependence of Microhardness on Cutting Modes during Waterjet Treatment of Hardox-500 Chrome-Nickel Steel. Herald of Azerbaijan Engineering Academy. 2024 Dec 30;16(4):27-33.
14. Fraña K, Neubert C, Simon S, Mammadov A, Amirov F. A Flow Study in the Cyclone with Particle Separations. In International Conference on Computational & Experimental Engineering and Sciences 2020 Dec 15 (pp. 52-59). Cham: Springer International Publishing.
15. Amirov FG. Unification of instrumental units in the position of mechanical processing of alloys with directional crystallization of eutectic structures on multi-stream automatic lines. Vestnik mashinostroeniya. 2020 Oct(10):79-81.
16. Amirov FG. Some aspects of increasing the efficiency of automated production lines. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedeniy. Machinostroenie. Bauman Moscow State Technical University. (Moscow). 2020;9:18-23.
17. Fariz Amirov G, Ilgar Shiraliyev T. Research on wear and tear of the mud pump liners.
18. Amirov F. Die Klassifizierung von Bauteilen für regulier-bzw. einrichtbaren automatischen Fertigungslinien unter Verwendung von CNC Werkzeugmaschinen. Energieeffizienz im Bau- und Maschinenwesen. 2017:7.
19. Amirov FG. Features of the concentration of instrument blocks in the position of mechanical processing on multi-flow automatic lines. Izvestiya Azerbaijan National Aerospace Agency. 2014;17(1):27.
20. Amirov FG. Distinctive features of machining operation at positions. Vestnik mashinostroyeniya. 2013(1):49-51.
21. Amirov FG. Features of mechanical processing on positions. Herald of machine building. 2013(1):49-51.
22. Amirov F. Pre-project analysis of production. Herald of machine building. 2012(2):75-9.
23. Amirov FG. Pre-project analysis of production in automated machine tool systems. Mechanics of mechanical engineering. 2011(2):123.
24. Amirov FG. Features of combining instrument blocks in the position of mechanical processing on automatic lines. Scientific works. 2012(1):26.
25. Amirov FG. "Technological processes of multi-nomenclature large-scale production". I International scientific conference "Nanotechnology and their application in technology": December 15-16. In 1-я Междунар. науч. conf." Nanotechnologies and application of them in technology". Baku 2010 (p. 210).
26. Dzhanaakhmedov AH, Amirov FG. STATUS AND PERSPECTIVES OF IS - USE OF NON-TRADITIONAL RENEWABLE ENERGY SOURCES. Assembly in machine building, instrumentation. 2009(10):51-5.
27. Amirov FG. Increasing the efficiency and ensuring the reliability of automatic lines. Herald of machine building. 2004(5):77-8.
28. Amirov FG. Ways to improve the efficiency of aggregate machines and automatic lines. Mechanical engineering. 2002(2):35.
29. Simon S, Yusubov ND, Amirli SF, Amirov FG. Surface Roughness of Chromonickel Steel after Water Jet Machining: A Full Factorial Experiment. Russian Engineering Research. 2025 Mar;45(3):341-5.
30. Amirov FG, Shiraliyev IT. External Wear of a Flush Pipe in a Drilling Rig. Russian Engineering Research. 2025 May;45(5):629-34.
31. Simon S, Yusubov N, Amirli S, Amirov F. Research on Some Issues of the Processed Surface Formation in the Hydroabrasive Cutting of Chrome-Nickel Steels. In International Symposium on Unmanned Systems and the Defense Industry 2024 May 22 (pp. 275-281). Cham: Springer Nature Switzerland.
32. Abbasov V, Amirov F, Karimov A. Features of the New Design of the Camshaft of Internal Combustion Engines. In International Symposium on Unmanned Systems and the Defense Industry 2024 May 22 (pp. 282-288). Cham: Springer Nature Switzerland.

33. Simon S, Yusubov ND, Amirli SF, Amirov FG. Research of the Dependence of Microhardness on Cutting Modes during Waterjet Treatment of Hardox-500 Chrome-Nickel Steel. Herald of Azerbaijan Engineering Academy. 2024 Dec 30;16(4):27-33.
34. Simon S, Yusubov ND, Amirli SF, Amirov FG. Some features of chip formation during hydroabrasive processing. News of higher educational institutions. Machine building. 2024(11 (776)):53-61.
35. Simon S, Yusubov ND, Amirli SF, Amirov FG. Some features of chip formation during hydroabrasive processing. News of higher educational institutions. Machine building. 2024(11 (776)):53-61.
36. Amirli SF, Fritsche P, Abbasov IT, Wichmann S, Simon S, Amirov FG, Mammadov AS. The impact of high speed mechanical processing efficiency on the production process. Herald of Azerbaijan Engineering Academy. 2022 Mar 30;14(1):41-51.
37. Amirov FG. Uniting of instrument blocks in the position of mechanical processing of alloys with directed crystallization of eutectic structures on multi-flow automatic lines. Herald of machine building. 2020(10):79-81.
38. Sultan-Zade NM, Amirov FG. Разработка процесса процесса оптимизации технологических процессов для ПАЛ. News of higher educational institutions. Machine building. 2013(7):66-72.
39. Amirov FG. Structural layouts of adjustable automatic lines for details such as wire rotation. Herald of machine building. 2012(3):85-6.
40. Amirov FG. Increasing the efficiency of automatic lines with flexible connection due to transport-accumulation systems of the dead-end type.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18194401>
УДК 669.168

ПОЛНЫЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИСТОГО ФЕРРОСПЛАВА ИЗ ГРАНИТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОРДАЙ

БЕГАЛИЕВ ТӨЛЕБЕК МҰСАҰЛЫ

Магистрант кафедры ТСиМ, Южно-Казахстанский университет им.М.Ауэзова,
Шымкент, Казахстан

ШЕВКО ВИКТОР МИХАЙЛОВИЧ

Профессор кафедры ТСиМ, Южно-Казахстанский университет им.М.Ауэзова,
Шымкент, Казахстан

КАРАТАЕВА ГУЛЬНАРА ЕРГЕШОВНА

Доцент кафедры ТСиМ, Южно-Казахстанский университет им.М.Ауэзова, Шымкент,
Казахстан

Аннотация. В статье приводятся результаты исследований возможности получения из гранита Кордайского месторождения, содержащего 74,9% SiO_2 и 14% Al_2O_3 ферросилиция и ферросиликоалюминия. Исследования проведены методом термодинамического моделирования с использованием программного комплекса HSC-6.0 Chemistry, основанного на принципе минимума энергии Гиббса. Установлено, что продуктами углетермического восстановления SiO_2 и Al_2O_3 являются Fe_3Si , FeSi , FeSi_2 , CaSiO_3 , Si , SiO(g) , CaSi , Al , Al(g) . Найдены температурные области образования этих веществ в зависимости от количества железа. Увеличение в шихте количества железа до 100% повышает степень извлечения кремния в сплав до 94,2% при 1800°C , уменьшает алюминия до 40,6% при 2000°C , снижает концентрацию кремния в сплаве до 24,5% (при 1800°C) и алюминия до 2,19% (при 2000°C). Из гранита при 1800°C возможно выплавка ферросилиция четырех марок: FeSi25 в присутствии 69-100% Fe; FeSi45 - 25-38% Fe; FeSi50 - 22-25% Fe и FeSi65 - 12-13% Fe. Так, ферросиликоалюминий марки ФС55А15 (56% Si и 12,5% Al) образуется в присутствии 12% железа при 2000°C , а марки ФС60А10 (61% Si и 8% Al) - при 1950°C . Степень извлечения кремния в ферросиликоалюминий составляет 55-69,4%, алюминия 55-74,5%, а при образовании ферросилиция в него извлекается от 75,1 до 94,2% кремния.

Ключевые слова: гранит, термодинамическое моделирование, температура, степень извлечения, кремний, алюминий, ферросилиций, ферросиликоалюминий.

Республика Казахстан обладает значительными запасами минерального сырья. Одна из самых распространенных в континентальных массивах Земли, относится к горной магматической породе – граниту [1]. На сегодняшний день в мире гранит является популярным отделочным материалом. Ежегодное его потребление составляет более 500 млн. м^2 , а обороты по его продаже исчисляются десятками миллиардов долларов [2]. Промышленная добыча гранита ведется во многих странах. Крупнейшие месторождения гранита находятся в Индии, Китае, Бразилии, Италии, России, Украине, Европе, Африке и др. странах [3]. Запасы гранита составляют 70-80% земной коры.

В Казахстане крупные запасы гранита расположены в Южном, Восточном и Центральном Казахстане, общий объем которых составляет более 50 млн. м^3 . К крупным месторождениям гранитов относятся Кызылсайское, Жылгызское, Жельтау, Майкуль, Капал-Арасан, Кордайское.

Кордайское месторождение гранита расположено в Жамбыльской области, добывают его недалеко от станции Отар [4]. Данный гранит обладает красивым красным цветом, высокой теплостойкостью, удельной плотностью (2600 кг/м^3), прочностью на сжатие (101 МПа), устойчивостью к внешним воздействиям и долговечностью. Основной состав минералов входящий в гранит относятся: кварц (37%), калиевый полевой шпат (33%), плагиоклаз (20%), биотит (5%), остальное (5%) - магнетит, апатит, серит, каолин, хлорит. Область применения Кордайского гранита обширна, например, для облицовки стен, полов, в жилых, коммерческих и промышленных помещениях, фасадов; карнизы, столешницы, перила, декоративные изделия, колонны.

В настоящей работе приводятся результаты исследований по компьютерному термодинамическому моделированию получения кремнистого ферросплава из гранита месторождения Кордай.

Методика исследований. Исследования проводили методом термодинамического моделирования с использованием программного комплекса HSC-6.0, основанного на принципе минимума энергии Гиббса и его модуля Equilibrium Compositions [5].

Расчет равновесного распределения элементов проводили на основе алгоритма, опубликованного в [6]. Определялось влияние температуры и железа на распределение кремния, железа, алюминия. Температурный интервал исследований $500\text{-}2000^\circ\text{C}$. Количество железа изменяли от 12 до 100% от массы гранита. Кроме равновесного распределения элементов определяли концентрацию металлов в ферросплаве. Количество углерода во всех случаях было постоянным и составляло 100% от теоретически необходимого для восстановления Si из SiO_2 , Fe из Fe_2O_3 и Al из Al_2O_3 . За температуру начало образования веществ (T_n) была принята температура равновесной степени распределения элемента в вещество $\geq 0,01\%$. Давление также было постоянным и составляло 1 бар. Температурный шаг составил 100 градусов.

Исследования проводили с гранитом месторождения Кордай, который содержал масс. %: 74,9% SiO_2 , 14,0% Al_2O_3 , 3,7% Na_2O , 3,3% K_2O , 1,7% CaO , 1% FeO , 0,9% Fe_2O_3 , 0,4% MgO , 0,1% TiO_2 .

Результаты исследований. Первичная информация о количественном (кг) распределении веществ позволила установить, что в рассматриваемой системе гранит -C-12%Fe образуются следующие вещества, содержащие кремний, алюминий, железо: Fe_3Si , FeSi , FeSi_2 , CaSi , Si, CaSiO_3 , MgSiO_3 , SiO(g) , Al, Al(g) , FeO.

В таблице 1 приведена информация о T_n веществ, содержащих кремний и алюминий.

Таблица 1 - Температура начала образования веществ содержащих кремний и алюминий

Вещество	Fe_3Si	FeSi	FeSi_2	CaSi	SiO(g)	Si	Al	Al(g)
$T_n, ^\circ\text{C}$	1300	1200	1500	1800	1400	1300	1500	1800

Видно, что силициды железа – основа ферросилиция начинают образовываться в температурном интервале 1200°C (FeSi) - 1500°C (FeSi_2). Незначительное образование SiO(g) , с которым теряется кремний происходит при 1400°C . Начальное образование алюминия происходит при 1500°C , а газообразного алюминия - при 1800°C .

На рисунке 1 показано влияние температуры на равновесную степень распределения (α , %) кремния и алюминия. Из рисунка 1 видно, что в зависимости от температуры основными веществами в который переходит кремний являются Si, FeSi и SiO(g) . Кроме этого, кремний переходит в CaSiO_3 ($< 2,5\%$), MgSiO_3 ($< 0,8\%$), FeSi_2 ($< 1,2\%$), Fe_3Si ($< 0,3\%$), CaSi ($< 2,0\%$). При 1800°C суммарный переход кремния в ферросплав в виде Si, FeSi , FeSi_2 , Fe_3Si , CaSi составил 70%. Нежелательный переход кремния в SiO(g) повышается до 28,3% при 2000°C .

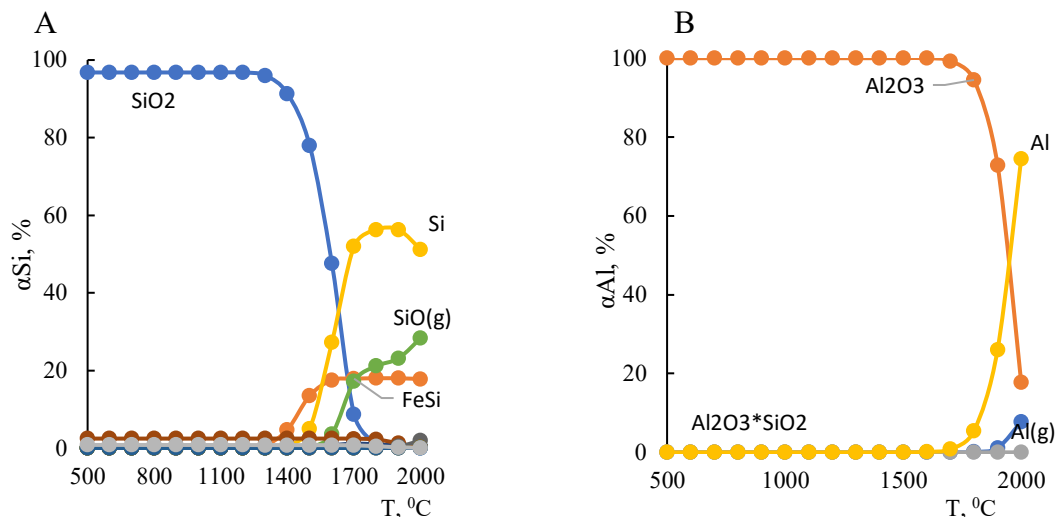


Рисунок 1 – Влияние температуры на равновесную степень распределения кремния (А) и алюминия (В) в системе гранит – С -12Fe

Образование алюминия становится заметным после 1700⁰С. При 2000⁰С он восстанавливается до 74,3%. При этом в газ переходит только 7,7% этого элемента.

Характер равновесного распределения кремния и алюминия при 40% железа в системе гранит – С – Fe показан на рисунке 2.

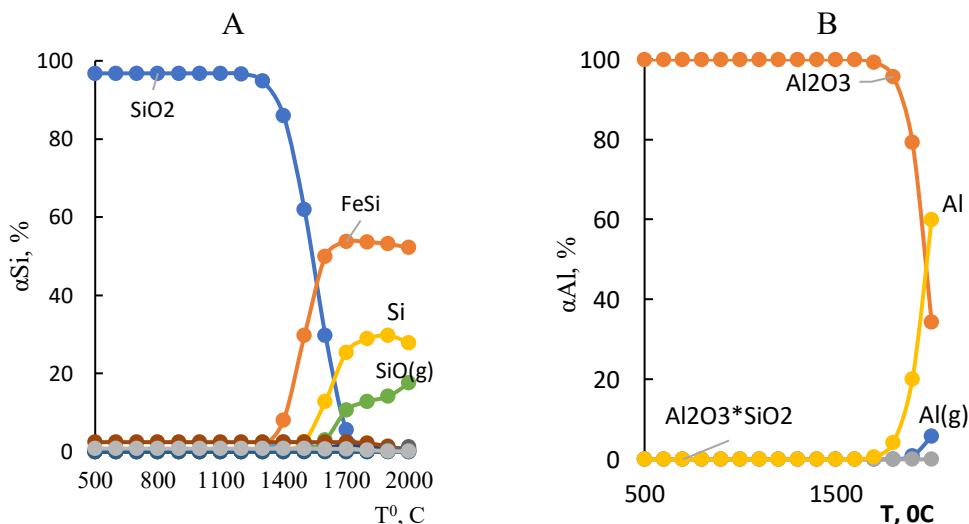


Рисунок 2 – Влияние температуры на равновесную степень распределения кремния (А) и алюминия (В) в системе гранит – С - 40Fe

Видно, что основные вещества, в которые переходит кремний содержатся FeSi, SiO(g) и Si. Однако с увеличением количества железа большая часть кремния переходит не только в элементное состояние, а в FeSi составляя максимум – 53,6% при 1800⁰С. При 40% железа Тн образования Fe₃Si снижается до 1100⁰С. На Тн FeSi, FeSi₂, CaSi, Si, Al, Al(g) увеличение количества железа до 40% влияние не оказывает. При 1800⁰С суммарный переход кремния в ферросплав составляет 89,4%. Алюминий при 2000⁰С при таком количестве железа составляет 59,9%. αSi(SiO(g)) при 40% железа и 2000⁰С снижается до 17,9%.

T, °C	SiO ₂	FeSi	Si	Fe ₃ Si	SiO(g)	FeSi ₂	CaSiO ₃	CaSi	MgSiO ₃
500	96,8	0	0	0	0	0	2,43	0	0,79
600	96,8	0	0	0	0	0	2,43	0	0,79
700	96,8	0	0	0	0	0	2,43	0	0,79
800	96,8	0	0	0	0	0	2,43	0	0,78
900	96,8	0	0	0	0	0	2,43	0	0,78
1000	96,8	0	0	0	0	0	2,43	0	0,77
1100	96,8	0	0	0	0	0	2,43	0	0,77
1200	96,5	0,01	0	0,21	0	0	2,43	0	0,76
1300	92,7	1,45	0,02	2,67	0	0	2,43	0	0,76
1400	77,4	8,56	0,184	10,66	0,01	0	2,43	0	0,75
1500	44,7	35,26	1,25	15,3	0,22	0,08	2,42	0	0,73
1600	12,8	68,91	3,48	9,92	1,5	0,33	2,42	0	0,70
1700	1,95	82,96	4,83	4,26	2,77	0,38	2,35	0	0,53
1800	0,32	87,07	5,74	1,08	3,26	0,33	1,98	0,01	0,23
1900	0,07	87,64	6,74	0,15	3,93	0,27	1,05	0,08	0,07
2000	0,02	86,11	7,54	0,01	5,35	0,23	0,39	0,28	0,03

В таблице 2 показано влияние температуры на равновесную степень распределения кремния в системе гранит – С - 100Fe.

Таблица 2 - Влияние температуры на равновесную степень распределения кремния в системе гранит – С – 100Fe

Из таблицы 2 видно, что основными веществами в который переходит кремний являются: FeSi, Fe₃Si, SiO(g) и Si. Причем основная часть кремния при 1700⁰C (92,05%) переходит в FeSi, Fe₃Si и Si, а в SiO(g) переходит только 2,77% кремния.

Характер изменения степени распределения кремния в различные вещества показаны на рисунке 3.

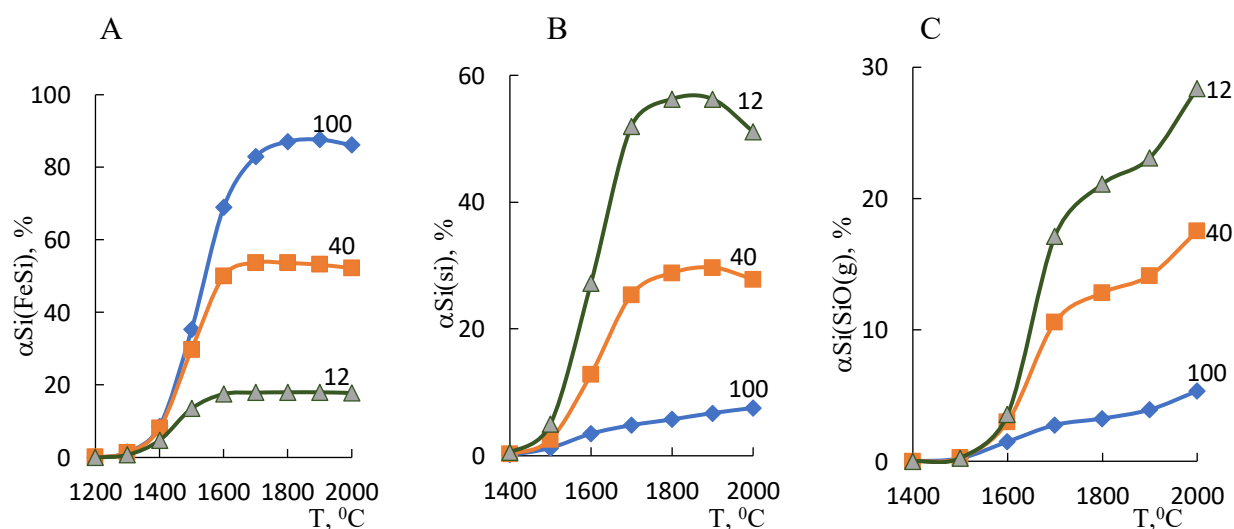
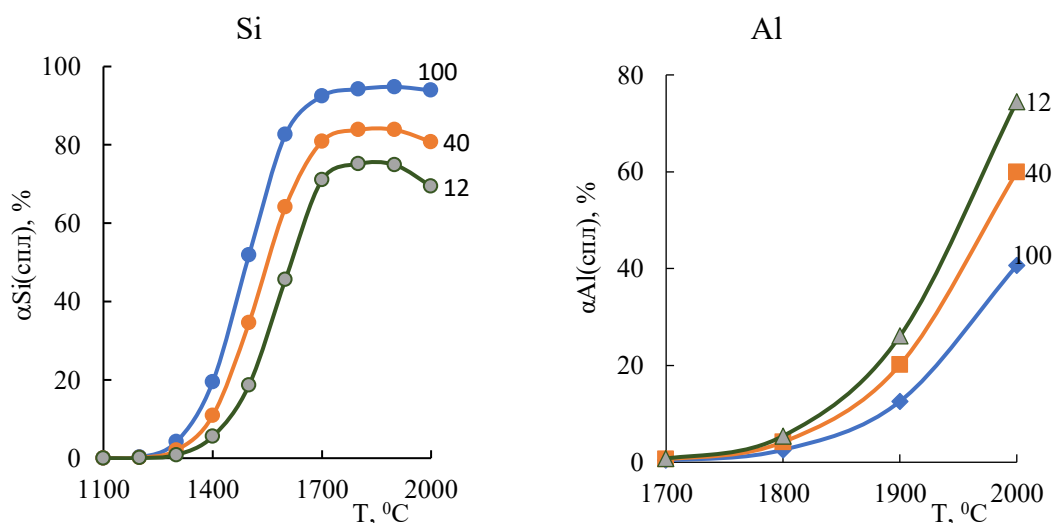


Рисунок 3 – Влияние температуры на степень извлечения кремния в FeSi (A), Si (B), SiO(g) (C)

Видно, что увеличение количества железа при постоянном углероде приводит к повышению извлечения кремния в FeSi до 83,6%. Степень образования элементного кремния

снижается от 56,3% до 7,5%. При этом негативный процесс потерь кремния с газообразным SiO также снижается от 28,2% до 5,3%.

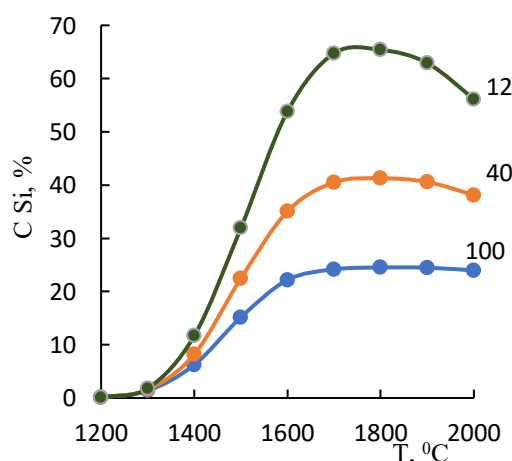
Целевым назначением работы является максимальное извлечение кремния в ферросплав в виде ΣFeSi , Fe_3Si , Si , FeSi_2 , $\text{CaSi} - \alpha\text{Si}(\text{спл})$. На рисунке 4 показано влияние температуры и железа на $\alpha\text{Si}(\text{спл})$ и $\alpha\text{Al}(\text{спл})$.



Цифры у линий – количество железа 12, 40, 100 % от массы гранита
 Рисунок 4 – Влияние температуры и железа на $\alpha\text{Si}(\text{спл})$ и $\alpha\text{Al}(\text{спл})$

Из рисунка следует, что увеличение количества железа заметно повышает $\alpha\text{Si}(\text{спл})$. Например, при 1800°C на 19,1% (от 75,1% до 94,2%), а алюминия напротив – уменьшает, например при 2000°C – на 35,6% (от 74,5% до 40,6%).

На рисунке 5 показано влияние температуры и железа на концентрацию кремния в сплаве.



Цифры у линий – количество железа 12, 40, 100 % от массы гранита
 Рисунок 5 – Влияние температуры и железа на концентрацию кремния в сплаве

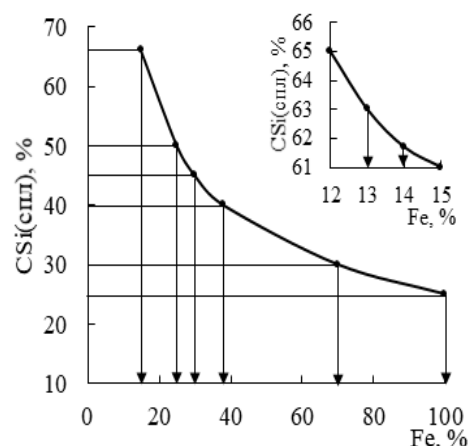


Рисунок 6 – Влияние железа при 1800°C на концентрацию кремния в сплаве и марку ферросилиция

Из рисунка 5 видно, что концентрация кремния в сплаве снижается (при постоянной температуре) при увеличении количества железа. Так, при 1800°C она снижается на 40,8%

(от 65,4 до 24,5%). На рисунке 6 показано влияние температуры на содержание кремния в сплаве и марку ферросилиция. Так, ферросилиций марки FeSi25 [7] содержанием 20-30% Si при 1800⁰C образуется в присутствии 69-100% железа, марки FeSi45 с содержанием 41-47% Si при 25-38% железа, ферросилиций марки FeSi50 с содержанием 47-51% Si при 22-25% железа и ферросилиций марки FeSi65 – в присутствии 12-13% железа. Степень извлечения кремния в ферросилиций разных марок при 1800⁰C с увеличением количества железа от 12% до 100% увеличивается от 75,1% (для FeSi65) до 94,2% (для FeSi25). При 1800⁰C и 12-100% железа концентрация алюминия в сплаве (ферросилиций) не превышает 1%. Так, при 100% Fe $C_{Al(спл)}=0,14\%$, при 40% Fe $C_{Al(спл)}=0,43\%$ и при 12% Fe $C_{Al(спл)}=0,99\%$.

Из гранита получения не только ферросилиция, но и ферросиликоалюминия различных марок. Так, в соответствии с ферросилицием марки ФС55А15 содержанием 12,5% Al, 56% Si можно получить при 2000⁰C и 12% железа (при чем $\alpha Si(спл) = 69,4\%$, $\alpha Al(спл) = 74,5\%$). При 1950⁰C формируется ферросиликоалюминий, содержащий 8% Al и 61% Si, который по [8] можно отнести к ферросиликоалюминию марки ФС60А10. Однако в этом случае несмотря на извлечение 72% кремния в сплав в него переходит только 55% алюминия. При 1900⁰C в сплав при 12% железа извлекается только 27% алюминия, поэтому в сплаве с содержанием 65% кремния концентрация алюминия составляет только 4,6%.

Закключение. На основании полученных результатов по термодинамическому моделированию взаимодействия гранита Кордайского месторождения с углеродом и железом можно сделать следующие выводы:

- продуктами восстановления оксидов кремния и алюминия являются Fe₃Si, FeSi, FeSi₂, CaSi, Si, SiO(g), Al, Al(g); силициды железа начинают появляться при 1200-1500⁰C, Si - 1300⁰C, Al - 1500⁰C, SiO(g) - 1400⁰C, CaSi и Al(g) - 1800⁰C; основными веществами, в которые переходит кремний из гранита являются FeSi, Si и SiO(g);

- увеличение количества железа от 12 до 100% от массы гранита увеличивают степень извлечения кремния в FeSi от 18 до 87,6% и уменьшает извлечение в SiO(g) от 28,4 до 5,3%, кремния в элементное состояние от 56,3% до 7,5%; общее извлечение кремния в сплав в виде силицидов и Si повышается от 75,1% до 94,2%, а алюминия в сплав уменьшается от 74,5% до 40,6%;

- концентрация кремния и алюминия в сплаве снижается при увеличении количества железа; максимальная концентрация кремния в сплаве (65,4%) наблюдается при 12% Fe и 1800⁰C, а алюминия (12,7%) при 12% - FeSi и 2000⁰C;

- при 1800⁰C из гранита возможно получения ферросилиция нескольких марок: FeSi25 – при 69-100% Fe, FeSi45 – при 25-58%, FeSi50 – при 22-25% Fe и FeSi65 – при 12-13% Fe;

- ферросиликоалюминий марки ФС55А15 (12,5% Al и 56% Si) из гранита, возможно, получить при 2000⁰C и 12% Fe; марки ФС60А10 (8% Al и 61% Si) при 1950⁰C и 12% Fe.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Всё о граните: происхождение, свойства и применение <https://veneziastone.com/articles/vsyo-o-granite/?srsltid=AfmBOop22wecodAQQz9zU95MB999oZJQ41R-7IeT8pRxv837zQmOV15W>
2. Месторождения гранита в Казахстане <https://servicestone.ru/mestorozhdeniya-kazahstana.php#10>
3. Залежи гранита - континенты, запасы, добыча. <https://goodstones.ru/zalezhi-granita-kontinenty-zapasy-dobycha/>
4. Кордайский гранит <https://memorystone.kz/stone/kordajskij-granit/>
5. Удалов Ю.П. Применение программных комплексов вычислительной и геометрической термодинамики в проектировании технологических процессов неорганических веществ. -СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2012. – 147 с.
6. Шевко В.М., Сержанов Г.М., Каратаева Г.Е., Аманов Д.Д. Расчет равновесного распределения элементов применительно к программному комплексу HSC-5.1. Программа для ЭВМ. Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом. РК №1501; опубл. 29.01.2019.
7. ГОСТ 1415-93. Ферросилиций. Технические требования и условия поставки. Межгосударственный стандарт. - Минск, 1993, 11с. (изм.№1, 2011).
8. ТУ 0820-011-14513884-2013. Ферросиликоалюминий. Екатеринбург: ООО «УИС», 2013.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18194420>
УДК 621.311

ЭЛЕКТР БЕРІЛІС ЖЕЛІЛЕРІНІҢ АҒЫМДАҒЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ РЕЖИМІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ АҒЫННЫҢ ТАРАЛУЫН ЕСЕПТЕУДІ ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ

ЫБЫРАЙХАН КАМИЛА

«Электроэнергетикалық жүйелер» БББ
«Ғ. Дәукеев атындағы АЭЖБУ» КЕАҚ
Алматы қ., ҚР

УТЕШКАЛИЕВА Л.Ш.

қауымдастырылған профессор,
техника ғылымдарының кандидаты,
«Ғ. Дәукеев атындағы АЭЖБУ» КЕАҚ
Алматы қ., ҚР

Аннотация: Электроэнергетикалық жүйелердегі жүктемелердің өсуі және экстремалды температуралық әсерлердің жиілеуі әуе электр беру желілерінің жұмыс режимдерінің елеулі өзгеруіне алып келеді. Өткізгіштердің температуралық режимі олардың электрлік, жылулық параметрлеріне тікелей әсер етіп, активті кедергі шамасын, қуат шығындарын, рұқсат етілетін тоқтық жүктемелерді айқындайды. Мақалада электр беру желілерінің ағымдағы температуралық күйін ескере отырып, электроэнергетикалық жүйелердегі қуат ағындарының таралуын есептеу әдістері зерттелген. Орныққан режимдерді есептеудің классикалық тәсілдері, желі элементтерінің электрмеханикалық, жылулық байланыстылығына негізделген температураға тәуелді әдістер қарастырылды. Қазақстанның климаттық жағдайларына тән пайдалану температуралары диапазонында 220 кВ желі үшін сандық талдау жүргізілді.

Температуралық режимді ескеру қуат ағындарын есептеудегі қателікті едәуір төмендетуге, шығындарды дұрыс бағалауға және желілердің рұқсат етілетін өткізу қабілетін анықтаудың сенімділігін арттыруға мүмкіндік беретіні көрсетілді.

Кілт сөздер: электроэнергетикалық жүйе, қуат ағындарының таралуы, температуралық режим, электр беру желілері, активті шығындар, электрөткізгіштік.

Қуат ағындарының таралуын есептеу электроэнергетикалық жүйелердің режимдерін талдаудың іргелі міндеттерінің бірі болып табылады. Бұл есептеулердің нәтижелері желілерді жобалау, даму жоспарларын әзірлеу, жедел-диспетчерлік басқару және электрмен жабдықтау сенімділігін бағалау кезінде қолданылады. Орныққан режимдердің классикалық теориясы желі элементтерінің параметрлері, соның ішінде электр беру желілерінің активті және реактивті кедергілері тұрақты болып қалады деген болжамға негізделеді. Мұндай жорамал ұзақ уақыт бойы қолайлы деп есептелді, себебі ол есептеу процедураларын жеңілдетіп, қалыпты жүктемелер кезінде орнықты шешімдер алуға мүмкіндік берді.

Алайда қазіргі жағдайда бұл болжам өзектілігін жоғалтып отыр. Орнатылған қуаттың өсуі, транзиттік ағындар үлесінің артуы және климаттық әсерлердің күшеюі электр беру желілерінің жылулық күйін желі жұмысының айқындаушы факторларының біріне айналдырды. Әуе желілері қоршаған ортаның кең температуралық диапазонында пайдаланылады, ал өткізгіштердің температурасы Джоульдік шығындар мен күн радиациясының әсерінен ауа температурасынан айтарлықтай жоғары болуы мүмкін.

Өткізгіш температурасының артуы олардың активті кедергісінің өсуіне, қуат шығындарының артуына және желідегі токтардың қайта таралуына әкеледі. Сонымен қатар өткізгіштердің термиялық ұзаруы салдарынан салбырау шамасының артуы ұлғайып,

механикалық беріктік талаптары мен нормативтік габариттерді сақтау шарттары бойынша жүктемені шектеуге мәжбүр етеді. Эксперименттік және пайдалану деректері алюминий өткізгіштердің температурасы $+20^{\circ}\text{C}$ -тан $+60^{\circ}\text{C}$ -қа дейін артқанда активті кедергі 13–15 %-ға өсетінін, ал рұқсат етілетін тоқтық жүктеме 10–12 %-ға төмендейтінін көрсетеді, осы өзгерістер қуат ағындарын есептеу нәтижелеріне тікелей әсер етеді.

Қазақстанның электроэнергетикалық жүйелері үшін температуралық фактордың маңызы ерекше. Жаз мезгілінде бірқатар өңірлерде ауа температурасы $+40\dots+45^{\circ}\text{C}$ -қа жетсе, қыс мезгілінде -30°C -тан төмен мәндер байқалады. Мұндай ауытқулар өткізгіштердің салқындау жағдайларын түбегейлі өзгертеді және олардың электрлік параметрлерінің айтарлықтай өзгеруіне алып келеді. Соған қарамастан, қолданылатын есептік модельдердің басым бөлігі желілердің ағымдағы температуралық режимін ескермейді, бұл өткізу қабілеті мен желі жұмысының сенімділігін бағалауда жүйелі қателіктерге себеп болады.

Зерттеу жұмысының мақсаты электр беру желілерінің температуралық режимін ескере отырып, электроэнергетикалық жүйелердегі қуат ағындарының таралуын есептеуді зерттеу, осы фактордың есептеу дәлдігі мен желілердің пайдалану көрсеткіштеріне әсерін бағалау.

Электроэнергетикалық жүйенің орныққан режимдерін есептеудің классикалық моделінде тораптар арасындағы активті қуат ағыны желі параметрлері мен кернеу бұрыштары арқылы анықталады. Осы ретте желінің электрлік параметрлері тұрақты деп қабылданып, пайдалану жағдайларына тәуелсіз деп есептеледі, мұндай тәсіл тек температуралық режимдер салыстырмалы түрде тұрақты, айқын жылулық артық жүктемелер болмаған жағдайда ғана желінің мінез-құлқын дұрыс сипаттайды.

Физикалық тұрғыдан өткізгіштің активті кедергісі оның температурасына тәуелді, себебі температура материалдың меншікті кедергісіне әсер етеді. Алюминий өткізгіштер үшін кедергінің температураға тәуелділігі пайдалану температуралары диапазонында сызықтық функциямен жеткілікті дәлдікпен сипатталады. Температуралық коэффициенті шамамен $0,004\ 1/^{\circ}\text{C}$ болған жағдайда температураның 30°C -қа артуы кедергінің шамамен 12 %-ға өсуіне әкеледі, өсім активті шығындардың ұлғаюына және қуат ағындарының қайта таралуына тікелей әсер етеді.

Осылайша, кедергілердің температураға тәуелділігін ескермей жүргізілген қуат ағындарын есептеу шығындарды төмендетіп көрсетуге және желілердің жүктелу деңгейін бұрмалап бағалауға алып келеді, әсіресе жоғары температура жағдайында.

Желілердің температуралық режимін ескеру үшін электр-жылулық тәсіл қолданылады, оның аясында электрлік және жылулық қосалқы есептер бірлесіп шешіледі. Модельдің электрлік бөлігі ағымдағы кедергілер мәндері негізінде желілердегі токтар мен қуат ағындарын анықтайды. Жылулық бөлігі өткізгіштегі жылу балансын сипаттайды, мұнда токтың өтуінен туындайтын жылу бөлінуі және қоршаған ортамен жылу алмасу ескеріледі.

Есептеу итерациялық түрде орындалады. Бастапқы кезеңде желінің базалық температурадағы электрлік параметрлері беріледі. Қуат ағындары есептелгеннен кейін әрбір желідегі ток анықталып, соның негізінде өткізгіш температурасы есептеледі. Одан кейін активті кедергі есептелген температураға сәйкес түзетіліп, қуат ағындарын есептеу қайта жүргізіледі. Бұл процесс токтар мен температуралар бойынша жинақталу шарты орындалғанға дейін жалғасады. Салыстыру үшін классикалық AC Power Flow, электр-жылулық әдіс, метеорологиялық деректерге негізделген рұқсат етілетін токты динамикалық бағалау тәсілдері қолданылды.

Сандық талдау жалпы ұзындығы 812 км болатын 220 кВ кернеулі желі үшін жүргізілді. Қоршаған орта температурасының -25°C -тан $+45^{\circ}\text{C}$ -қа дейінгі диапазоны қарастырылды, ол нақты пайдалану жағдайларына сәйкес келеді. Желілердің параметрлері мен өткізгіш түрлері нақты техникалық сипаттамаларға сәйкес қабылданды.

Есептеу нәтижелері қоршаған орта температурасының артуы желінің жұмыс режимдеріне айқын әсер ететінін көрсетті. Температура $+20^{\circ}\text{C}$ -тан $+50^{\circ}\text{C}$ -қа дейін артқанда өткізгіштердің активті кедергісі базалық мәнімен салыстырғанда 1,14 есеге дейін өседі. Бұл

активті қуат шығындарының 40 %-дан астам артуына және желілердің өткізу қабілетінің 16–17 %-ға төмендеуіне әкеледі.

Температураға тәуелді есептеу желінің параллель тармақтары арасында токтардың қайта таралуын анықтады, мұндай құбылыс классикалық тәсілмен есептеу кезінде байқалмайды. Кейбір жағдайларда стандартты есеп бойынша аз жүктелген деп саналатын желілер нақты пайдалану жағдайында жылулық шектеулерге жақындағаны анықталды.

Рұқсат етілетін тоқтық жүктемені динамикалық бағалау желдің салқындату әсерін ескеру арқылы желілердің нақты өткізу қабілетін 12–15 %-ға арттыруға мүмкіндік берді. Рұқсат етілетін токтардың тұрақты нормативтік мәндері желінің шынайы әлеуетін толық бейнелей алмайтынын дәлелдейді.

Әдістерді салыстыру жоғары температура жағдайында классикалық AC Power Flow есептеуінің қателігі 10–12 %-ға дейін жететінін көрсетті, ал электр-жылулық есеп бұл қателікті 2–3 %-ға дейін төмендетеді. Электр-жылулық тәсілді рұқсат етілетін тоқты динамикалық бағалаумен біріктіру есептеулердің ең жоғары дәлдігін және артық жүктеме режимдеріне сезімталдықты қамтамасыз етеді.

Алынған нәтижелер электр беру желілерінің температуралық режимі электроэнергетикалық жүйелердің өткізу қабілеті мен сенімділігін шектейтін негізгі факторлардың бірі екенін растайды. Кедергілердің температураға тәуелділігін елемей рұқсат етілетін қуат ағындарын жүйелі түрде асыра бағалауға және шығындарды кемітіп көрсетуге алып келеді.

Электр-жылулық модельдер желіні статикалық сипаттаудан оның күйін физикалық тұрғыдан неғұрлым негізделген түрде сипаттауға көшуге мүмкіндік береді. Олар климаттық жағдайлардың, тоқтық жүктеменің және өткізгіштердегі жылулық процестердің әсерін дұрыс ескеруді қамтамасыз етеді. Бұл температураның маусымдық ауытқуы айқын және әуе желілері ұзын өңірлер үшін ерекше маңызды.

Модельдерді практикалық тұрғыда қолдану электрмен жабдықтаудың сенімділігін арттырып қана қоймай, қолданыстағы желілік активтерді тиімді пайдалануға, желіні кеңейтуге жұмсалатын капиталдық шығындарды азайтуға мүмкіндік береді.

Ғылыми жұмыста электр беру желілерінің ағымдағы температуралық режимін ескере отырып, электроэнергетикалық жүйелердегі қуат ағындарының таралуын есептеу тереңдетіп зерттелді. Өткізгіш температурасының желілердің активті кедергісіне, қуат шығындарына және рұқсат етілетін тоқтық жүктемелерге тікелей әсер ететіні анықталды.

Температуралық факторларды ескермей жүргізілген дәстүрлі есептеу әдістері желі режимдерін бағалауда 12 %-ға дейінгі қателіктерге әкелуі мүмкін екені көрсетілді. Электр-жылулық модельдерді және рұқсат етілетін тоқты динамикалық бағалау әдістерін қолдану есептеу дәлдігін 98 %-ға дейін арттыруға және желілердің нақты өткізу қабілетін 12–15 %-ға ұлғайтуға мүмкіндік береді.

Зерттеу нәтижелері температураға тәуелді қуат ағындарын есептеу әдістерін электроэнергетикалық жүйелердің режимдерін талдау мен басқару практикасына енгізудің, әсіресе айқын климаттық ауытқулар жағдайында, орынды әрі қажетті екенін растайды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ:

1. Zhou, S., Wang, J., Yang, M. (2020). Time-process power flow considering thermal behavior. IEEE Trans. Power Systems.
2. Karimi, S., Musilek, P., Knight, A. (2018). Dynamic thermal rating of transmission lines: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
3. Teh, J., Lai, C. (2017). Impact of real-time thermal loading on bulk system reliability. IEEE Trans. Reliability.
4. Комплексный учет режимно-атмосферных факторов в расчете активного сопротивления и потерь электроэнергии в ЛЭП/ А.А. Герасименко, И.В. Шульгин, Г.С. Тимофеев // Межвуз. сб-к научных трудов " Оптимизация режимов работы электрических систем". – Красноярск. – 2008 г. - С. 188-206.
5. Rahman, M., Cecchi, V., Miu, K. (2019). Power handling capabilities using temperature-dependent power flow. Electric Power Systems Research.
6. Воротницкий В.Э., Туркина О.В. Оценка погрешностей расчета потерь электроэнерг. в ВЛ из-за неучёта метеоусловий // Электрические станции. –2008. - №10. - С.42-49.
7. J. Schlichting, Molybdenum disilicide as a component of modern high-temperature composites, High Temperatures - High Pressures 10, 3, 241-269 (1978)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18194495>
УДК 621.311

БАТЫС ҚАЗАҚСТАН, АТЫРАУ ЖӘНЕ МАҢҒЫСТАУ ОБЛЫСТАРЫ АРАСЫНДАҒЫ ТРАНЗИТТІҢ СЕНІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҮШІН 220 КВ ЭЛЕКТР ЖЕЛІСІНІҢ БАЙЛАНЫСЫН КҮШЕЙТУ

НҰРСОЛТАН ЕРКЕБҰЛАН

«Электроэнергетикалық жүйелер» БББ
«Ғ. Дәукеев атындағы АЭЖБУ» КЕАҚ
Алматы қ., ҚР

УТЕШКАЛИЕВА Л.Ш.

қауымдастырылған профессор,
техника ғылымдарының кандидаты,
«Ғ. Дәукеев атындағы АЭЖБУ» КЕАҚ
Алматы қ., ҚР

Аннотация: Мақала Қазақстан Республикасының Батыс Қазақстан, Атырау және Маңғыстау облыстары арасында электр энергиясының транзитін қамтамасыз ететін 220 кВ кернеулі электр беру желілерінің сенімділігі мен өткізу қабілетін кешенді талдауға арналған. Зерттеу барысында электр энергетикалық режимдерді модельдеу, климаттық факторлардың желілердің тоқтық жүктеме көтеру қабілетіне әсерін бағалау және электрмен жабдықтаудың сенімділік көрсеткіштерін талдау әдістері қолданылды. Алынған нәтижелер Батыс Қазақстандағы 220 кВ электр желілерінің қолданыстағы сызықтық конфигурациясының құрылымдық тұрғыдан осал екенін көрсетті. Сонымен қатар, желінің сақиналы топологиясына көшу және заманауи мониторинг жүйелерін енгізу электр энергиясы шығындарын едәуір азайтып, өңірлік энергожүйенің орнықтылығын арттыруға мүмкіндік беретінін дәлелдейді.

Кілт сөздер: 220 кВ электр беру желілері, электр энергиясының транзиті, өткізу қабілеті, энергожүйенің сенімділігі, термиялық жүктеме, Батыс Қазақстан энергожүйесі

Қазақстанның батыс өңірі ұлттық электр энергетикалық жүйе құрылымында ерекше стратегиялық орын алады. Батыс аймақ жоғары энергия сыйымдылығы бар мұнай-газ өндірумен, өңдеу және көлік инфрақұрылымының шоғырлануымен, сонымен қатар елдің орталық және солтүстік генерациялық тораптарынан географиялық тұрғыдан алшақ орналасуымен ерекшеленеді. Батыс Қазақстан, Атырау, Маңғыстау облыстары елдегі мұнай-газ өндірісінің негізгі бөлігін қамтамасыз етеді, өз кезегінде ол үздіксіз әрі сенімді электрмен жабдықтауды талап етеді.

Ресми энергетикалық баланстарға сәйкес, 2024 жылы Қазақстан Республикасындағы жалпы электр энергиясын тұтыну көлемі шамамен 115 млрд кВт·сағ құрады, оның ішінде батыс өңірлерге тиесілі үлес 22 млрд кВт·сағ шамасында болды. Алайда аймақтағы электр энергиясын өндіру көлемі тұтыну деңгейін толық өтей алмайды. KazEnergy деректеріне сәйкес, Атырау облысында ең жоғарғы жүктеме кезеңдерінде электр жүктемесі 500 МВт-тан асып, Маңғыстау облысында 470–480 МВт деңгейіне жеткен. Осы жүктемелердің тек 60–65 %-ы жергілікті генерация есебінен жабылады, ал қалған бөлігі сыртқы транзит арқылы жеткізіледі.

Энергожүйенің мұндай теңгерімсіздігі батыс аймақтарды 220 кВ және одан жоғары кернеулі магистральдық желілерге тікелей тәуелді етеді. Тарихи тұрғыдан алғанда, бұл өңірдегі электр желілері негізінен сызықтық қағида бойынша дамыған. Яғни, тораптар арасында балама немесе резервтік бағыттар жеткіліксіз қалыптасқан. Мұндай құрылым желінің бір элементі істен шыққан жағдайда тұтас аймақтардың электрмен жабдыкталуының

бұзылуына алып келеді. Мәселе сенімділік көрсеткіштерінен айқын көрінеді, KEGOC компаниясының 2021–2024 жылдардағы есептеріне сәйкес, батыс өңірлердегі SAIDI көрсеткіші жылына орта есеппен 210–215 минутты құрап, Қазақстанның бірыңғай энергетикалық жүйесі бойынша орташа мәннен 35–40 % жоғары болды. Мұндай айырмашылық желі құрылымының әлсіздігін және транзиттік байланыстарды күшейту қажеттігін көрсетеді.

Климаттық факторлар да жағдайды күрделендіре түседі. Батыс Қазақстан аумағында электр беру желілері қыс мезгілінде -40°C -қа дейін, ал жазда $+45^{\circ}\text{C}$ -қа дейін жететін температуралық жағдайда пайдаланылады. MDPI мен Springer басылымдарында жарияланған зерттеулерге сәйкес, ауа температурасы $+40^{\circ}\text{C}$ -тан асқан кезде алюминий-болат өткізгіштердің рұқсат етілген ток өткізу қабілеті 12–15 %-ға төмендейді. Бұл желілердің өткізгіштік мүмкіндігін шектеп, қуат шығындарының өсуіне және апаттық жағдайлардың ықтималдығының артуына алып келеді.

Осыған байланысты аталған үш облыс арасындағы 220 кВ электр беру желілерінің байланысын күшейту, транзит сенімділігін арттыру энергетикалық қауіпсіздік тұрғысынан өзекті ғылыми-практикалық мәселе болып табылады. Осы зерттеудің мақсаты – Қазақстанның батысындағы үш облыс арасындағы 220 кВ транзиттік байланыстардың техникалық жай-күйі мен сенімділігін жүйелі түрде бағалау, нақты эксплуатациялық деректер мен есептік модельдер негізінде олардың сенімділігін арттыру жолдарын негіздеу.

Зерттеудің әдіснамалық негізі ресми статистикалық деректерді талдау мен электр энергетикалық жүйенің орныққан режимдерін есептік модельдеуді үйлестіруге негізделді. Оның ішінде 220 кВ желілердің ұзындығы мен жүктемесі, техникалық шығындар көлемі және электрмен жабдықтау сенімділігінің көрсеткіштері қамтылды. Желі режимдерін бағалау үшін DIgSILENT PowerFactory 2023 бағдарламалық кешенінде қуат ағындарын модельдеу жүргізілді. Есептік схема батыс өңірдің негізгі тораптарын, жалпы ұзындығы 812 км болатын 220 кВ желіаралық байланыстарды қамтыды. Жүктеме параметрлері ресми энергетикалық баланстарда көрсетілген орташа жылдық және ең жоғары нақты жүктемелерге сәйкес қабылданды.

Климаттық факторлардың желілердің рұқсат етілетін тоқтық жүктемесіне әсері халықаралық тәжірибеде кеңінен қолданылатын және MDPI мен Springer жарияланымдарында ұсынылатын IEEE 738-2012 стандартының әдістемесіне сәйкес бағаланды. Есептеулерде Батыс Қазақстанға тән нақты ауа температурасы диапазондары, пайдалану деректерінде көрсетілген AC-300 / AC-400 типті өткізгіштер ескерілді.

Электрмен жабдықтау сенімділігі диспетчерлік қызметтердің есептік деректері негізінде есептелген SAIDI, SAIFI индекстері арқылы талданды. Көрсеткіштер EU JRC зерттеулерінде кеңінен қолданылып, әртүрлі аймақтық энергожүйелердің сенімділік деңгейін салыстыруға мүмкіндік береді. Есептік деректерді талдау Қазақстандағы 220 кВ кернеулі электр беру желілерінің жалпы ұзындығы 15 669 км болғанын, оның едәуір бөлігі батыс макроөңірге тиесілі екенін көрсетті. Батыс 220 кВ дәлізі арқылы жылына шамамен 3,5 млрд кВт·сағ электр энергиясы тасымалданады, ұлттық желі бойынша берілетін электр энергиясының шамамен 9%-ына тең. Осы кернеу класындағы желілердегі техникалық шығындар 2,8–3,5% аралығында болды, ал ең жоғары мәндер Атырау – Бейнеу және Бейнеу – Ақтау арасындағы ұзын учаскелерде тіркелді.

Термиялық талдау нәтижелері қоршаған орта температурасы $+25^{\circ}\text{C}$ -тан $+45^{\circ}\text{C}$ -қа дейін артқанда AC-300 және AC-400 өткізгіштері бар 220 кВ желілердің рұқсат етілетін тоқтық жүктемесі орта есеппен 13–15%-ға төмендейтінін көрсетті. Абсолюттік мәнде бұл рұқсат етілетін токтың шамамен 600 А-дан 510–520 А-ға дейін азаюына сәйкес келеді. Аталған құбылыс жазғы кезеңдерде желілердің өткізу қабілетіне тікелей әсер етіп, ең жоғары жүктеме сағаттарында транзиттің шектелу қаупін арттырады.

Сенімділік көрсеткіштерін бағалау 2025 жылы батыс облыстар үшін SAIDI орташа мәні жылына шамамен 212 минутты құрағанын көрсетті, Қазақстан бойынша орташа деңгейден

шамамен 40%-ға жоғары. Ажыратулар себептерін талдау ұзақ үзілістердің едәуір бөлігі магистральдық желілердің жекелеген учаскелері авариялық ажыратылған жағдайда қуатты қайта таратуға арналған балама жолдардың болмауымен байланысты екенін көрсетті.

Батыс энергетикалық сақинасын Орал – Индер – Атырау – Бейнеу – Ақтау схемасы бойынша тұйықтау арқылы желінің балама конфигурациясын модельдеу қуат ағындарының едәуір қайта бөлінуін көрсетті. Бірдей жиынтық жүктеме кезінде жекелеген учаскелердегі артық жүктемелер 20–25%-ға дейін азайып, техникалық шығындар сызықтық схемаға қарағанда 20%-дан астам төмендеді. Сонымен қатар жүйенің дара істен шығуларға сезімталдығы азайып, күтілетін ажырату ұзақтығы қысқарды.

Сенімділік талдауы көрсеткендей, 2021–2024 жылдары батыс облыстардағы SAIDI көрсеткіші жылына орта есеппен 212 минутты, ал SAIFI 1,7 ажыратуды құрады. Мәндер желінің сызықтық құрылымының апаттық жағдайларға аса сезімтал екенін дәлелдейді. Сақиналы 220 кВ схема қалыптастыру сценарийі есептелген кезде желі жұмысының көрсеткіштері едәуір жақсарды. Модельдеу нәтижелері қуат шығындарының 20–22 %-ға қысқаруын, ажыратулар санының 33–37 %-ға төмендеуін және желі арқылы 600 МВт-қа дейінгі транзитті шектеусіз қамтамасыз ету мүмкіндігін көрсетті.

Алынған нәтижелер Springer, Taylor & Francis Springer, Taylor & Francis журналдарында жариялаған халықаралық зерттеулермен толық сәйкес келеді, зерттеулерде электр желісінің топологиясы оның сенімділігі мен пайдалану тұрақтылығын айқындайтын негізгі факторлардың бірі екені көрсетілген. Сызықтық құрылым балама қуат ағындарының жоқтығынан апаттық жағдайларда тұтас аймақтардың электрмен жабдықталуының үзілуіне алып келеді. Транзиттік ағындар үлесі жоғары, аумағы кең өңірлер үшін резервтелмеген сызықтық схемалар SAIDI көрсеткіштерінің өсуіне, ажыратулардан келетін экономикалық шығындардың артуына әкеледі. Батыс Қазақстан жағдайында желінің құрылымдық шектеулері климаттық факторлармен күрделене түседі. Жазғы кезеңдегі өте жоғары температуралар желілердің термиялық жүктеме көтеру қабілетін төмендетіп, қуат тапшылығын транзит есебінен өтеу мүмкіндігін шектейді. Мұндай әсерлер EU JRC-тың климаттық өзгерістердің электр энергетикалық жүйелердің сенімділігіне ықпалына арналған зерттеулерінде де сипатталған.

PAN Energy Policy Journal журналында ұсынылған Еуразия аймағындағы 220 кВ желілерін жаңғырту тәжірибесі сақиналы схемаларға көшу және желілердің рұқсат етілетін жүктемесін динамикалық анықтау жүйелерін енгізу жаңа трассалар салмай-ақ нақты өткізу қабілетін 10–12%-ға арттыруға мүмкіндік беретінін көрсетеді. Батыс Қазақстан үшін мұндай тәсіл өңірде жаңартылатын энергия көздерінің қосымша қуаттарын біріктіру жоспарларын ескере отырып ерекше өзекті болып табылады, олардың жиынтық әлеуеті бірнеше жүз мегаваттпен бағаланады.

Зерттеу нәтижелері Батыс Қазақстан, Атырау және Маңғыстау облыстары арасындағы 220 кВ электр беру желілері Қазақстанның энергетикалық қауіпсіздігі үшін стратегиялық маңызға ие екенін көрсетті. Батыс макроөңірде электр энергиясы транзитінің сенімділігі мәселесінің жүйелік сипатта екенін көрсетіп, 220 кВ желілерін топологиялық, технологиялық және цифрлық шешімдерді үйлестіре отырып кешенді жаңғырту қажеттігін дәлелдейді. Қолданыстағы сызықтық конфигурация апаттық, климаттық әсерлерге төзімділігінің шектеулі екенін көрсетті. Ол желінің сенімділігін шектеп, электр энергиясының шығындарын 3,5 %-ға дейін жеткізеді, ажыратулардың ұзақтығын арттырады.

Есептік талдау энергиялық режимдерді модельдеу Батыс Қазақстанда 220 кВ сақиналы құрылымын қалыптастыру электрмен жабдықтаудың сенімділігін едәуір арттыруға, электр энергиясы шығындарын азайтуға, термиялық шектеулерді асырмай транзиттік қуатты ұлғайтуға мүмкіндік беретінін растады.

Жалпы алғанда, батыс өңірдегі 220 кВ байланыстарын күшейту мен жаңғырту жергілікті инфрақұрылымдық жоба ретінде емес, Қазақстанның Бірыңғай энергетикалық жүйесінің энергетикалық қауіпсіздігін, орнықтылығын және ұзақ мерзімді тиімділігін

арттыруға бағытталған жүйелік шара ретінде қарастырылуы орынды.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ:

1. Электроэнергетические системы и сети: методические указания к курсовому проектированию / Н. В. Савина – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2013. – 59 с.
2. АО «KEGOC». Годовой отчет за 2023 год. Астана, 2024. 42 с.
3. Bendík et. al. 2023 – Bendík, J., Cenký, M. and Hromkovič, O. 2023. Energy harvesting device for smart monitoring of MV overhead transmission lines – Theoretical concept and experimental construction. Sensors 23(17), DOI: 10.3390/s23177538.
4. Djamanbayev et. al. 2020 – Djamanbayev, M.A., Karataeva, J.E. and Dzhumabekova, Z.A. 2020. Auto-oscillations of conductors of high-voltage power lines (anchor span). Bulletin of Almaty Technological University 127(2), pp. 54–60.
5. J. Henkel, A low power hardware/software partitioning approach for core-based embedded systems, Proceedings of the 36th annual ACM/IEEE Design Automation Conference, Berlin: ACM, 122-127 (1999)
6. Iakubovskii, D. et al. (2019). Resilience of electricity transmission in EAEU countries. Geosciences, 9(1):54.
7. Muhammad Waseem Khan, Jie Wang, Meiling Ma, Linyun Xiong, Penghan Li, Fei Wu, Optimal energy management and control aspects of distributed microgrid using multi-agent systems, Sustainable Cities and Society, Volume 44, 2019, 855-870, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.009>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670718315233>)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18194695>

MODELING OF WHEELED MOBILE ROBOT MOTION AND CONTROL STRATEGIES IN UNCERTAIN ENVIRONMENTS

YEGANA NOVRUZ KIZI ALIYEVA, ZAUR FAİK OGLU TAGIYEV
Azerbaijan State Oil and Industry University

Annotation. Over the past decade, robots have begun to play an increasingly significant role in human life, leading robotics research to focus on key areas such as environment perception, motion control, trajectory planning, and localization. This paper investigates the motion control of wheeled mobile robots with particular emphasis on the Model Predictive Control (MPC) approach. MPC is widely employed to optimize system constraints in real time and can be effectively applied to systems with fast dynamics. Kinematic models of single-wheel and car-like robots are presented, while uncertainty-related constraints are taken into account and wheel motions are described using differential equations. The proposed models and control strategies enable the robot to safely reach its target while avoiding obstacles.

Keywords: mobile robotics, trajectory planning, coordinate framework, kinematic modeling, robotic platform, center of mass

In recent years, robots have become an integral component of daily human activities. Their deployment extends beyond traditional industrial and manufacturing settings to a wide range of domains, including service industries, healthcare systems, logistics operations, smart home technologies, and security applications. Practical implementations of robotic systems, particularly within industrial environments, have consistently demonstrated their effectiveness in increasing operational efficiency, enhancing work quality, and substituting human labor in dangerous or physically demanding conditions. Despite these notable achievements, several fundamental challenges in robotics research remain open, such as autonomous navigation in unfamiliar environments, reliable obstacle avoidance, and the design of adaptive control methodologies.

Robotics research primarily concentrates on key areas such as environment mapping, motion control, trajectory planning, and robot localization. These components are inherently interconnected: a mobile robot typically begins by constructing a representation of its surroundings, subsequently estimates its own position within this map, plans an appropriate trajectory based on the obtained information, and finally follows the planned path toward the target using a control mechanism. However, the execution of these processes is inherently complex due to uncertainty in sensor measurements and the dynamic, constantly changing nature of real-world environments.

This paper focuses exclusively on the motion control of wheeled mobile robots (WMRs). The control of WMR motion has been a longstanding research topic and remains highly relevant due to their superior maneuverability, energy efficiency, and ability to operate in complex environments. Wheeled mobile robots are considered an ideal platform for both theoretical investigations and practical applications; their motion modeling, characterization as nonlinear and nonholonomic systems, as well as the development and simulation of effective control strategies, constitute significant scientific and technological challenges.

Model Predictive Control (MPC), also known as Receding Horizon Control (RHC), is an advanced control methodology that explicitly incorporates the optimization of control actions and system constraints at each time step. Owing to this capability, MPC has been extensively employed in industrial process control for several decades, with its effectiveness repeatedly demonstrated across a wide range of complex industrial systems. Over the past thirty years, the application scope of MPC has expanded considerably, leading to successful implementations in diverse domains such as mechanical systems, chemical processes, energy systems, and transportation applications. Historically, MPC was primarily applied to systems with slow dynamics due to its substantial computational requirements. However, recent advances in computing hardware, fast

simulation techniques, and optimization algorithms have enabled the deployment of MPC in systems with fast dynamics, including wheeled mobile robots (WMRs). Given their high maneuverability and ability to operate in complex and dynamic environments, WMRs represent a particularly suitable platform for MPC-based solutions, especially for tasks such as optimal trajectory tracking, velocity regulation, and obstacle avoidance.

Figure 1 illustrates the structure of a single-type wheeled mobile robot along with the coordinate system of its kinematic model. This configuration serves as the fundamental basis for modeling the robot's motion planning and control processes. The robot is equipped with two parallel, independently driven wheels mounted on a common rear axle, while a freely rotating caster wheel is positioned at the front. The center of mass is assumed to be located at the midpoint of the rear axle. Such a kinematic arrangement provides a suitable modeling framework for the implementation of MPC and other advanced control strategies, enabling accurate prediction of the robot's motion behavior.

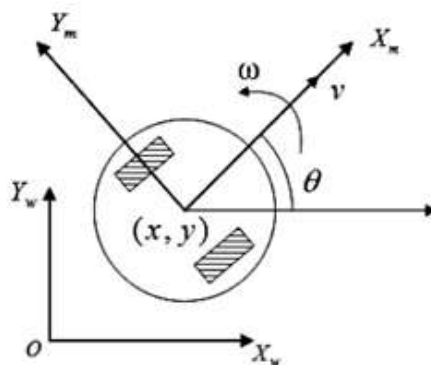


Figure 1. Coordinate system of the kinematic model of the wheeled mobile robot

The robot is equipped with two parallel, independently actuated wheels mounted on a common rear axle, while a freely rotating support wheel is located at the front. This wheel configuration allows for stable and precise control of the robot's motion. The center of mass is assumed to coincide with the midpoint of the rear axle, which simplifies both kinematic analysis and dynamic modeling. Consequently, the robot's movement is governed solely by the rotational angles and velocities of the wheels, leading to its characterization as a nonholonomic system.

$$\dot{x} = V \cos \theta \quad \dot{y} = V \sin \theta \quad \dot{\theta} = \omega$$

Here, (x, y) denote the position of the robot in the global coordinate frame, θ represents the robot's orientation angle, V is the linear velocity, and ω corresponds to the angular velocity. Although the system exhibits nonlinear dynamics and motion constraints, it is considered fully controllable, meaning that any desired final state can be reached from an arbitrary initial state using finite control inputs. The constrained motion model assumes pure rolling of the wheels without lateral or longitudinal slipping.

For the trajectory tracking controller, a linear time-varying system is obtained by linearizing the nonlinear dynamics around the reference trajectory. This linearized model remains controllable as long as the trajectory is nonstationary, and the system can be asymptotically stabilized using either linear or nonlinear control approaches. However, according to Brockett's theorem, the complete asymptotic stabilization of an equilibrium point generally requires either discrete-time control strategies or continuous time-varying control laws.

Figure 2 illustrates the coordinate system of a car-like mobile robot. This robot is driven by the rear wheels, while the front wheels are connected to a steering mechanism. The kinematic model of the car-like robot is expressed as follows:

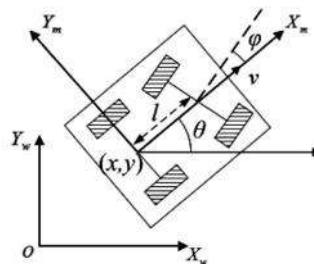


Figure 2. Coordinate system of the car-like mobile robot
 $\dot{x} = v \cos \theta$ $\dot{y} = v \sin \theta$ $\dot{\theta} = \frac{v}{l} \tan \phi$

Here, (x,y) represent the position in the global coordinate frame, v denotes the linear velocity, θ is the heading angle, ϕ corresponds to the steering angle, and l indicates the distance between the wheels (wheelbase).

A car-like mobile robot is also a constrained-motion vehicle and is subject to several kinematic limitations. These constraints define the minimum turning radius and the maximum achievable curvature of its trajectory. Since lateral motion is not feasible for such robots, maneuvers such as parking are typically accomplished through a sequence of forward and backward movements.

Despite these maneuverability constraints, the car-like steering mechanism provides enhanced lateral stability during high-speed turning, which constitutes one of its key advantages.

Autonomous mobile robots represent a highly attractive research topic from both scientific and practical perspectives. To operate effectively, wheeled mobile robots must be capable of perceiving their surrounding environment. In general, mobile robots are commonly equipped with sensors such as ultrasonic range finders and stereo vision systems.

The vehicle model employed in this study consists of two driven wheels whose angular velocities are independently controlled. This configuration is regarded as one of the simplest and most suitable models for small-scale, lightweight autonomous robots.

The study first addresses the modeling of autonomous wheeled mobile robots. Subsequently, an uncertainty-based control strategy for wheeled mobile robots operating in unknown environments with obstacles and inclined surfaces is introduced. The outputs of the proposed uncertain controller are defined as follows:

- The angular velocity difference between the robot's left and right wheels
- The linear velocity of the robot

Simulation results demonstrate that the proposed uncertainty-based control strategy is both effective and well-suited for obstacle avoidance and motion speed regulation.

The mechanical system is analyzed by considering n generalized coordinates (q) along with m kinematic constraints. Many mechanical systems, including wheeled vehicles and mobile robots, are inherently characterized by such kinematic constraints.

A mobile robot equipped with two driven wheels is therefore treated as a constrained-motion system. The kinematic model of the autonomous vehicle is described as follows:

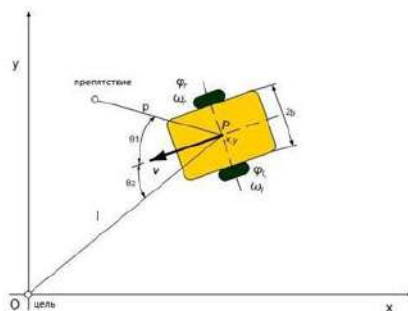


Figure 3. Position of the mobile robot in an obstacle-populated environment and the target state

P - denotes the distance to the obstacles, θ_1 - represents the obstacle direction, l - indicates the distance to the target, and θ_2 - corresponds to the target direction.

The inertial reference frame (Oxy) is fixed on the plane of motion, while the mobile robot is described with respect to a moving reference frame. The robot operates on a rigid, non-deformable platform composed of fixed wheels and moves on a horizontal, non-deformable surface.

During motion, the contact between each wheel and the horizontal surface is assumed to occur at a single point. The plane of each wheel remains vertical, and the wheel rotates about its horizontal axis, whose direction can be adjusted.

The center of a stationary wheel is considered as a fixed reference point associated with the robot's center of mass. The parameter b denotes the distance between the wheel center and point P .

The interaction between the wheel and the horizontal surface satisfies the pure rolling condition, implying that no slipping occurs during motion. For low-speed operation, this assumption provides a simplified yet realistic representation of the robot's motion.

Consequently, the contact between the wheels of the mobile robot and the rigid horizontal surface fulfills both pure rolling and no-slip conditions, meaning that the velocity at the contact point between each wheel and the surface is zero. At low velocities, this modeling approach is widely accepted as a reasonable and physically realistic approximation for describing wheel motion.

The rotation angle of the wheel about its horizontal axis is denoted by $\phi(t)$, while the wheel radius is represented by R . Accordingly, the position of the wheel is characterized by two constant parameters, B and R .

The motion of the mobile robot's wheels is described by time-varying angular positions:

- $\phi_r(t)$: the rotation angle of the right wheel;
- $\phi_l(t)$: the rotation angle of the left wheel.

The configuration of the mobile robot can be represented using five generalized coordinates:

$$q = [x, y, \theta, \phi_r, \phi_l]^T$$

Here, x and y denote the coordinates of the origin of the moving reference frame, θ represents the orientation angle of the mobile robot, and ϕ_r and ϕ_l correspond to the rotation angles of the right and left wheels, respectively. The linear velocity of the robot, v , is computed as follows:

The linear velocity of the robot, v , is determined as follows:

$$v = \frac{R(\omega_r + \omega_l)}{2}$$

Here, $\omega_r = d\phi_r/dt$ denotes the angular velocity of the right wheel, $\omega_l = d\phi_l/dt$ represents the angular velocity of the left wheel, and R is the wheel radius. The position and orientation of the mobile robot are described by the following system of differential equations:

$$\dot{x} = R \frac{\omega_r + \omega_l}{2} \cos \theta$$

$$\dot{y} = R \frac{\omega_r + \omega_l}{2} \sin \theta$$

$$\dot{\theta} = R \frac{\omega_r - \omega_l}{2B}$$

Here, x and y denote the position of the robot, θ represents its orientation angle, and B corresponds to the distance between the wheels. This model provides a simple yet accurate representation of the mobile robot's motion while explicitly accounting for wheel-induced kinematic constraints.

The findings of this study indicate that Model Predictive Control (MPC) and uncertainty-based control strategies constitute effective approaches for motion control of wheeled mobile robots. Incorporating kinematic models and motion constraints enables accurate prediction of robot behavior and reliable obstacle avoidance. Consequently, the proposed methods are capable of

ensuring safe and efficient operation of autonomous wheeled robots in both laboratory settings and real-world environments.

REFERENCES

1. You Bo, Wang Mingrui, Li Zhi, Ding Liang. Trajectory Planning of Wheeled Mobile Robot Based on Model Predictive Control[J]. *Journal of System Simulation*, 2020, 32(4): 591-600.
2. Jason Kong, Mark Pfeiffer, Georg Schildbach, Francesco Borrelli, "Kinematic and dynamic vehicle models for autonomous driving control design", in *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 2015, pp 1094– 1099
3. Straßberger, D.; Mercorelli, P.; Sergiyenko, O. A Decoupled MPC for Motion Control in Robotino Using a Geometric Approach. *J. Phys. Conf. Ser.* **2015**, 659, 012029.
4. Yu, S.; Guo, Y.; Meng, L.; Qu, T.; Chen, H. MPC for Path Following Problems of Wheeled Mobile Robots**The work is supported by the National Natural Science Foundation of China for financial support within the projects No. 61573165, No. 6171101085 and No. 61520106008. *Ifac-Pap.* **2018**

СОДЕРЖАНИЕ CONTENT

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ TECHNICAL SCIENCES

КАДЫР ЛИНАР ЕРНАРОВИЧ [ПАВЛОДАР, КАЗАХСТАН] К ВОПРОСУ О РАЗВИТИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА 2024–2029 ГОДЫ.....	3
HUSEYNOVA NURAY ELMAR QIZI [BAKU, AZERBAIJAN] ASSESSMENT METHODS IN THE ENVIRONMENTAL IMPACT.....	11
ТУРГИНБЕКОВ УАЛИХАН БОЛАТБЕКОВИЧ, КАРАТАЕВА ГУЛЬНАРА ЕРГЕШОВНА, ШЕВКО ВИКТОР МИХАЙЛОВИЧ [ШЫМКЕНТ, КАЗАХСТАН] ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЯ ИЗ ОГАРКА ХВОСТОВ ЖЕЗКАЗГАНСКОЙ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ.....	15
ЭМОМОВ БАХРОМ ФАЙЗУЛОЕВИЧ [БОХТАР, ТАДЖИКИСТАН] ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ НА ОСНОВЕ УГОЛЬНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАНА.....	20
HUSEYNOVA AYGUN, MAMMADZADEH MAHAMMAD [AZERBAIJAN] ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF A ROBOTIC ARM.....	25
FARİD MURADOV [KHIRDALAN, AZERBAIJAN], ANAR MAMMADHUSEYNOV [SUMGAIT, AZERBAIJAN] SOME FEATURES OF AUTOMATIC TOOL CALIBRATION ON CNC MACHINES.....	29
БЕГАЛИЕВ ТӨЛЕБЕК МҰСАҰЛЫ, ШЕВКО ВИКТОР МИХАЙЛОВИЧ, КАРАТАЕВА ГУЛЬНАРА ЕРГЕШОВНА [ШЫМКЕНТ, КАЗАХСТАН] ПОЛНЫЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИСТОГО ФЕРРОСПЛАВА ИЗ ГРАНИТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ КОРДАЙ.....	36
ЫБЫРАЙХАН КАМИЛА, УТЕШКАЛИЕВА Л.Ш. [АЛМАТЫ, ҚАЗАҚСТАН] ЭЛЕКТР БЕРІЛІС ЖЕЛІЛЕРІНІҢ АҒЫМДАҒЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫҚ РЕЖИМІН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ АҒЫННЫҢ ТАРАЛУЫН ЕСЕПТЕУДІ ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ.....	43
НҰРСОЛТАН ЕРКЕБҰЛАН, УТЕШКАЛИЕВА Л.Ш. [АЛМАТЫ, ҚАЗАҚСТАН] БАТЫС ҚАЗАҚСТАН, АТЫРАУ ЖӘНЕ МАҒЫСТАУ ОБЛЫСТАРЫ АРАСЫНДАҒЫ ТРАНЗИТТІҢ СЕНІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҮШІН 220 КВ ЭЛЕКТР ЖЕЛІСІНІҢ БАЙЛАНЫСЫН КҮШЕЙТУ.....	47
YEGANA NOVRUZ KIZI ALIYEVA, ZAUR FAİK OGLU TAGIYEV [AZERBAIJAN] MODELING OF WHEELED MOBILE ROBOT MOTION AND CONTROL STRATEGIES IN UNCERTAIN ENVIRONMENTS.....	51

ENDLESS LIGHT IN SCIENCE



Контакт



irc-els@mail.ru

Наш сайт



irc-els.com