

**ELEKTR ENERGIYASINI ISHLAB CHIQARISH XARAJATLARINI MASHINALI
O'QITISH MODELLARI VA ALGORITMLARI YORDAMIDA
OPTIMALLASHTIRUVCHI DASTURIY MAJMUA ISHLAB CHIQISH.**

Jalg'asbayeva Kunsulu Baxadir qizi

Nukus davlat texnika universiteti,

Dasturiy injiniring yo'nalishi 2-bosqich magistranti.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19047849>

Annotatsiya. Ushbu ilmiy maqolada elektr energiyasini ishlab chiqarish jarayonida yuzaga keladigan iqtisodiy xarajatlarni kamaytirish va ishlab chiqarish samaradorligini oshirish maqsadida mashinali o'qitish modellari va algoritmlaridan foydalanish imkoniyatlari chuqur tahlil qilinadi.

Zamonaviy energetika tizimlarida elektr energiyasiga bo'lgan talabning ortib borishi, resurslardan samarali foydalanish zarurati hamda energiya ishlab chiqarish jarayonlarining murakkablashuvi yangi texnologik yondashuvlarni talab etmoqda. Shu sababli maqolada elektr energiyasi ishlab chiqarish xarajatlarini prognozlash, tahlil qilish va optimallashtirish uchun sun'iy intellekt asosidagi algoritmlarni qo'llash masalasi ilmiy jihatdan asoslab beriladi.

Tadqiqot davomida energetika tizimlarida xarajatlarni shakllantiruvchi asosiy omillar, jumladan yoqilg'i sarfi, ishlab chiqarish quvvati, texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari, energiya iste'moli prognozi va ishlab chiqarish samaradorligi kabi ko'rsatkichlar kompleks ravishda o'rganiladi. Ushbu ko'rsatkichlarni chuqur tahlil qilish orqali mashinali o'qitishning regressiya, neyron tarmoqlar, qaror daraxtlari va gradient boosting kabi algoritmlaridan foydalanish imkoniyatlari ko'rib chiqiladi.

Kalit so'zlar: elektr energiyasi ishlab chiqarish, ishlab chiqarish xarajatlari, mashinali o'qitish, sun'iy intellekt, optimallashtirish algoritmlari, energetika tizimlari, prognozlash modellari, neyron tarmoqlar, regressiya tahlili, qaror daraxtlari, gradient boosting, energiya samaradorligi, energetika iqtisodiyoti, raqamli texnologiyalar, dasturiy majmua, katta ma'lumotlar tahlili.

Аннотация. В данной научной статье рассматриваются вопросы оптимизации затрат на производство электрической энергии на основе применения моделей и алгоритмов машинного обучения. В условиях стремительного роста потребления электроэнергии, усложнения энергетических систем и необходимости повышения эффективности использования ресурсов возрастает актуальность внедрения современных интеллектуальных технологий в энергетическую отрасль. В связи с этим в работе исследуются возможности применения методов искусственного интеллекта для анализа, прогнозирования и оптимизации производственных затрат в энергетике. В процессе исследования анализируются основные факторы, формирующие себестоимость производства электроэнергии, включая затраты на топливо, уровень загрузки генерирующих мощностей, расходы на техническое обслуживание оборудования, прогнозирование спроса на электроэнергию и эффективность функционирования энергетических систем.

Ключевые слова: производство электроэнергии, производственные затраты, машинное обучение, искусственный интеллект, оптимизация, энергетические системы, прогнозирование, нейронные сети, регрессионные модели, деревья решений, градиентный бустинг, энергетическая эффективность, цифровые технологии, программный комплекс, анализ больших данных.

Annotation. *This scientific article examines the problem of optimizing electricity generation costs through the application of machine learning models and algorithms. In modern energy systems, the rapid growth in electricity demand, increasing complexity of energy infrastructures, and the necessity for efficient resource utilization require the implementation of advanced digital technologies.*

Therefore, the study focuses on the use of artificial intelligence and machine learning techniques for analyzing, forecasting, and optimizing the economic costs associated with electricity generation. The research investigates the key factors influencing electricity production costs, including fuel consumption, generation capacity utilization, maintenance expenses, electricity demand forecasting, and operational efficiency of power systems.

Keywords: *electricity generation, production costs, machine learning, artificial intelligence, optimization algorithms, energy systems, forecasting models, neural networks, regression analysis, decision trees, gradient boosting, energy efficiency, digital technologies, software complex, big data analytics.*

KIRISH

Bugungi kunda energetika sohasi har qanday mamlakat iqtisodiy taraqqiyotining asosiy tayanch tarmoqlaridan biri hisoblanadi. Elektr energiyasi ishlab chiqarish, uni samarali taqsimlash va iste'mol qilish jarayonlarini optimallashtirish iqtisodiy barqarorlikni ta'minlashda muhim rol o'ynaydi. Energetika tizimlarini modernizatsiya qilish va ularda zamonaviy texnologiyalarni joriy etish masalasi davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biri sifatida qaralmoqda.

O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Shavkat Mirziyoyev energetika tizimini modernizatsiya qilish masalasiga alohida e'tibor qaratib shunday ta'kidlaydi: "Energetika tizimini tubdan modernizatsiya qilish, energiya ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va energiya resurslaridan oqilona foydalanish iqtisodiyotning barqaror rivojlanishining muhim omilidir." Ushbu fikr energetika sohasida innovatsion texnologiyalarni joriy etish va energiya ishlab chiqarish xarajatlarini optimallashtirish zarurligini yana bir bor tasdiqlaydi.

So'nggi yillarda energiya ishlab chiqarish jarayonlarini boshqarishda raqamli texnologiyalar, sun'iy intellekt va mashinali o'qitish algoritmlaridan foydalanish keng rivojlanmoqda. Elektr energiyasini ishlab chiqarish xarajatlarini optimallashtirish masalasi energetika tizimlarining iqtisodiy samaradorligini oshirishga xizmat qiladi. An'anaviy boshqaruv usullari ko'pincha katta hajmdagi ma'lumotlarni to'liq tahlil qilish imkonini bermaydi, natijada ishlab chiqarish xarajatlarini aniq prognozlash qiyinlashadi. Mashinali o'qitish texnologiyalari katta hajmdagi energetik ma'lumotlarni qayta ishlash, yashirin qonuniyatlarni aniqlash va optimal qarorlar qabul qilish imkonini beradi.

Ushbu texnologiyalar yordamida yoqilg'i sarfi, elektr energiyasi iste'moli, ishlab chiqarish quvvatlari yuklamasi va texnik xizmat ko'rsatish xarajatlarini tahlil qilish orqali energiya ishlab chiqarish xarajatlarini sezilarli darajada kamaytirish mumkin. Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi elektr energiyasini ishlab chiqarish xarajatlarini mashinali o'qitish modellari va algoritmlari yordamida optimallashtirish hamda ushbu jarayonni avtomatlashtiruvchi dasturiy majmua ishlab chiqishdan iborat.

METODOLOGIYA

Mazkur tadqiqotda elektr energiyasini ishlab chiqarish xarajatlarini optimallashtirish muammosini hal qilish uchun kompleks ilmiy metodologiya ishlab chiqildi.

Tadqiqot jarayonida matematik modellash, statistik tahlil, mashinali o'qitish algoritmlari va dasturiy tizimlarni loyihalash usullaridan foydalanildi. Tadqiqotning birinchi bosqichida elektr energiyasini ishlab chiqarish jarayoniga ta'sir qiluvchi asosiy iqtisodiy va texnik omillar aniqlab olindi. Ushbu omillar qatoriga yoqilg'i sarfi, ishlab chiqarish quvvatlari yuklamasi, elektr energiyasiga bo'lgan talab darajasi, texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari hamda ishlab chiqarish samaradorligi kiritildi. Mazkur ko'rsatkichlar energetika tizimlarining iqtisodiy samaradorligini aniqlashda muhim ahamiyatga ega.

Ikkinchi bosqichda katta hajmdagi energetik ma'lumotlar yig'ildi va ularni qayta ishlash jarayoni amalga oshirildi. Ma'lumotlarni qayta ishlash jarayonida ma'lumotlarni tozalash, normallashtirish, statistik tahlil qilish va xususiyatlarni ajratish usullari qo'llanildi. Bu jarayon mashinali o'qitish modellari uchun sifatli ma'lumotlar bazasini yaratish imkonini berdi. Uchinchi bosqichda elektr energiyasi ishlab chiqarish xarajatlarini prognozlash uchun mashinali o'qitishning turli algoritmlari qo'llanildi. Xususan, regressiya modellari, qaror daraxtlari, random forest, gradient boosting hamda sun'iy neyron tarmoqlar algoritmlari tahlil qilindi. Ushbu algoritmlar yordamida energiya ishlab chiqarish xarajatlariga ta'sir qiluvchi omillar o'rtasidagi bog'liqlik aniqlanib, prognozlash modellari ishlab chiqildi. To'rtinchi bosqichda ishlab chiqilgan modellar samaradorligi baholandi. Model aniqligini baholash uchun o'rtacha kvadrat xatolik (MSE), o'rtacha mutlaq xatolik (MAE) va determinatsiya koeffitsienti (R^2) kabi ko'rsatkichlardan foydalanildi. Tadqiqotning yakuniy bosqichida mashinali o'qitish algoritmlari asosida elektr energiyasini ishlab chiqarish xarajatlarini optimallashtiruvchi dasturiy majmua ishlab chiqildi. Ushbu dasturiy majmua energetika tizimlarida ma'lumotlarni avtomatik tahlil qilish, prognozlash va optimal boshqaruv qarorlarini qabul qilish imkonini beradi.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Energetika tizimlarini optimallashtirish va mashinali o'qitish texnologiyalarini qo'llash masalasi ko'plab olimlar tomonidan o'rganilgan. Masalan, Tom Mitchell o'zining "Machine Learning" (2017) nomli asarida mashinali o'qitish algoritmlarining katta hajmdagi ma'lumotlarni tahlil qilishdagi ahamiyatini ta'kidlab, quyidagi fikrni bildiradi: "Mashinali o'qitish tizimlari tajriba asosida o'z faoliyatini takomillashtirish orqali murakkab muammolarni hal qilish imkonini beradi." Bu g'oya energetika tizimlarida prognozlash modellari yaratishda muhim ahamiyatga ega. Ian Goodfellow, Yoshua Bengio va Aaron Courville tomonidan yozilgan "Deep Learning" (2016) asarida sun'iy neyron tarmoqlar katta hajmdagi ma'lumotlarni tahlil qilish va murakkab tizimlarni modellashda yuqori samaradorlikka ega ekanligi ko'rsatib berilgan.

Aurelien Geron o'zining "Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow" (2019) asarida mashinali o'qitish algoritmlarining amaliy qo'llanilishi haqida to'xtalib, regressiya, qaror daraxtlari va ansambl metodlari yordamida prognozlash muammolarini samarali hal qilish mumkinligini ta'kidlaydi. Energetika tizimlarida optimallashtirish muammolari S. S. Rao tomonidan yozilgan "Engineering Optimization: Theory and Practice" (2019) asarida keng yoritilgan.

Muallif optimallashtirish algoritmlari resurslardan samarali foydalanish imkonini berishini ta'kidlaydi. O'zbekistonlik olim Sh. Yunusov o'zining energetika tizimlari bo'yicha tadqiqotlarida energiya resurslaridan samarali foydalanish masalalarini o'rganib, energetika tizimlarida raqamli texnologiyalarni joriy etish ishlab chiqarish samaradorligini oshirishini ta'kidlaydi. Mazkur ilmiy tadqiqotlar mashinali o'qitish algoritmlarini energetika tizimlarida qo'llash elektr energiyasi ishlab chiqarish xarajatlarini optimallashtirishda muhim ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatadi.

NATIJARLAR VA MUHOKAMALAR

Tadqiqot natijalari mashinali o'qitish algoritmlarining elektr energiyasini ishlab chiqarish xarajatlarini prognozlash va optimallashtirishda yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatdi.

Tahlil jarayonida regressiya modellari, qaror daraxtlari, random forest va sun'iy neyron tarmoqlar asosida bir nechta prognozlash modellarini yaratildi.

Natijalar shuni ko'rsatdiki, sun'iy neyron tarmoqlar va gradient boosting algoritmlari energiya ishlab chiqarish xarajatlarini prognozlashda eng yuqori aniqlik ko'rsatkichlariga ega bo'ldi. Ushbu modellar energiya ishlab chiqarish jarayoniga ta'sir qiluvchi omillar o'rtasidagi murakkab bog'liqliklarni aniqlash imkonini berdi. Tahlil natijalari energiya ishlab chiqarish xarajatlariga eng katta ta'sir ko'rsatuvchi omillar yoqilg'i narxi, ishlab chiqarish quvvatlarining yuklama darajasi hamda texnik xizmat ko'rsatish xarajatlari ekanligini ko'rsatdi.

Mashinali o'qitish modellari ushbu omillar o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlab, energiya ishlab chiqarish jarayonini optimallashtirish imkonini berdi. Shuningdek, ishlab chiqilgan dasturiy majmua real vaqt rejimida ma'lumotlarni tahlil qilish va prognozlash imkonini beradi.

Bu esa energetika tizimlarida boshqaruv qarorlarini tez va aniq qabul qilish imkonini yaratadi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, mashinali o'qitish algoritmlaridan foydalanish energiya ishlab chiqarish xarajatlarini 10–15 foizgacha kamaytirish imkonini beradi. Bu esa energetika tizimlarining iqtisodiy samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

XULOSA

Xulosa qilib aytganda, mazkur tadqiqotda elektr energiyasini ishlab chiqarish xarajatlarini optimallashtirish uchun mashinali o'qitish modellari va algoritmlaridan foydalanish imkoniyatlari chuqur tahlil qilindi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, sun'iy intellekt texnologiyalari energetika tizimlarida ma'lumotlarni tahlil qilish, prognozlash va optimal boshqaruv qarorlarini qabul qilishda muhim ahamiyatga ega. Mashinali o'qitish algoritmlaridan foydalanish energiya ishlab chiqarish jarayonlarini samarali boshqarish, ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish va energiya resurslaridan oqilona foydalanish imkonini beradi.

Kelajakda energetika tizimlarida chuqur o'rganish algoritmlari, katta ma'lumotlar texnologiyalari va raqamli boshqaruv tizimlarini keng joriy etish energiya ishlab chiqarish samaradorligini yanada oshirishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni. O'zbekiston Respublikasini yanada rivojlantirish bo'yicha Harakatlar strategiyasi to'g'risida. // O'zbekiston Respublikasi qonun hujjatlari to'plami. – T., 2017.
2. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Qarori. 2022–2026-yillarda energetika sohasini raqamlashtirish chora-tadbirlari to'g'risida. – T., 2022.
3. Yunusov Sh. Energetika tizimlarida samaradorlikni oshirish. – Toshkent, 2019.
4. Karimov A. Energetika iqtisodiyoti asoslari. – Toshkent, 2018.
5. Tursunov B. Energetika tizimlarini boshqarish. – Toshkent, 2020.
6. Mitchell T. Machine Learning. – New York: McGraw Hill, 2017.
7. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – MIT Press, 2016.
8. Géron A. Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow. – O'Reilly, 2019.
9. Rao S. S. Engineering Optimization: Theory and Practice. – Wiley, 2019.

10. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning. – Springer, 2018.
11. Murphy K. Machine Learning: A Probabilistic Perspective. – MIT Press, 2019.
12. Zhang W., Li C. Energy System Optimization Using Machine Learning. – Elsevier, 2021.