

**ATOM ELEKTR STANSIYALARI TIZIMIDA DATA SCIENCE ASOSIDA
MONITORING VA OPTIMALLASHTIRISH IMKONIYATLARI****Ashirov Doston Farxod o'g'li**

AES va issiqlik energetikasi kafedrası talabasi.

Toshkent davlat texnika universiteti,

O'rolov Jo'rabek Abduraxmon o'g'li

TDTU Universiteti ilmiy xodimi

Muradov Botir Xayat. Ta'lim sifatini nazorat qilish bo'limi bosh mutaxassisi.

O'zbekiston Respublikasi, Toshkent shahri, A. Qodiriy ko'chasi, 7b.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.16788533>

Annotatsiya. Ushbu maqolada atom elektr stansiyalarida (AES) Data Science texnologiyalarining ahamiyati va qo'llanilishi tahlil qilingan. Xususan, real vaqtli monitoring, nosozliklarni oldindan aniqlash, xavfsizlikni kuchaytirish va energiya ishlab chiqarishni optimallashtirishda sun'iy intellekt, mashinali o'rganish va katta ma'lumotlar tahlilining roli yoritilgan. Dunyo tajribasi va statistik ma'lumotlar asosida AES faoliyatini raqamlashtirish jarayonida Data Science texnologiyalarining o'rni chuqur tahlil qilinadi. Maqola soha mutaxassislari, talabalar hamda ilmiy izlanish olib boruvchilar uchun foydali manba bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Abstract. This article explores the role and importance of Data Science technologies in nuclear power plants (NPPs). It highlights the application of artificial intelligence, machine learning, and big data analytics in real-time monitoring, predictive maintenance, safety enhancement, and energy production optimization. Based on global experience and statistical data, the article provides an in-depth analysis of how Data Science contributes to the digital transformation of NPP operations. This paper serves as a valuable resource for professionals, students, and researchers in the field.

Аннотация. В данной статье рассматривается роль и значение технологий Data Science в атомных электростанциях (АЭС). Особое внимание уделено применению искусственного интеллекта, машинного обучения и анализа больших данных для мониторинга в реальном времени, прогнозирования отказов оборудования, повышения безопасности и оптимизации производства энергии. На основе мирового опыта и статистических данных проводится глубокий анализ вклада Data Science в цифровизацию деятельности АЭС. Статья может быть полезна специалистам, студентам и научным исследователям.

Kirish

Bugungi kunda global energetika sanoatida xavfsizlik, barqarorlik va samaradorlik eng muhim ustuvor yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, yuqori xavf darajasiga ega bo'lgan atom elektr stansiyalari (AES) bu talablarni qondirishda doimiy yangilanish va ilg'or texnologiyalarni joriy etishni taqozo etadi. AES tizimlarida minglab datchiklar orqali real vaqt rejimida uzatiladigan katta hajmdagi ma'lumotlar oqimi mavjud bo'lib, bu ma'lumotlarni chuqur tahlil qilish, aniqlik bilan talqin etish va asoslangan boshqaruv qarorlarini qabul qilish zarurati tug'iladi. Shu nuqtai nazardan, Data Science — zamonaviy ma'lumotlar tahlili, statistik modellash, sun'iy intellekt va mashinaviy o'qitish yondashuvlarini birlashtiruvchi fanlararo soha — AES tizimlarida innovatsion yechimlar taklif qilishi mumkin. Bu texnologiya nafaqat mavjud axborotni boshqarishga yordam beradi, balki avariylarni oldindan bashorat qilish, uskunalarni

ishdan chiqishining oldini olish, energetik samaradorlikni oshirish va inson omiliga bog'liq xatoliklarni kamaytirish imkonini beradi.

Data Science sohasi o'zida quyidagi asosiy komponentlarni mujassamlashtiradi:

Ma'lumotlar tahlili (**Data Analysis**), AES operatsion ko'rsatkichlarini (reaktor harorati, bosim, neytron zichligi va h.k.) tahlil qilish orqali muhim xulosalar chiqariladi.

Mashinaviy o'qitish (**Machine Learning**), algoritmlar real vaqt rejimida o'z tajribasidan o'rganib, xavfli holatlarni oldindan aniqlashni o'rganadi. Sun'iy intellekt (**AI**), operatorlarga qaror qabul qilishda ko'maklashuvchi aqlli tizimlar shakllantiriladi. **Ma'lumotlarni vizualizatsiya qilish**, katta hajmdagi murakkab ma'lumotlarni grafik ko'rinishda taqdim etib, muhandislar va texnik xodimlarga tezkor harakat qilish imkonini beradi.

AESda Data Science texnologiyalarini joriy etish — bu faqat raqamli transformatsiya emas, balki xavfsizlik madaniyatini chuqurlashtirish, qaror qabul qilishda noaniqlikni kamaytirish va umumiy ishlash samaradorligini oshirish demakdir. Atom elektr stansiyalari faoliyatida yuzaga keladigan ma'lumotlar hajmi juda katta bo'lib, ular turli datchiklar, boshqaruv panellari, xavfsizlik tizimlari va operator yozuvlari orqali to'planadi. Ushbu ma'lumotlarni tahlil qilish va ulardan samarali foydalanish Data Science texnologiyalarining asosiy vazifalaridan biridir. Quyida AESda Data Science'ning muhim amaliy yo'nalishlari ko'rib chiqiladi:

1. Nosozliklarni oldindan aniqlash (Predictive Maintenance). AESdagi jihozlar, ayniqsa reaktorlar va turbinalar, uzoq muddatli va xavfsiz ishlashi kerak. Uskunalarining holatini monitoring qilish orqali sun'iy intellekt vositalari potensial nosozliklarni ancha oldindan aniqlab, avariylarni oldini olishga yordam beradi. Masalan: Vibration sensor, bosim va harorat datchiklaridan kelayotgan ma'lumotlarni o'rganib, normal og'ishdan chiqish holatlari aniqlanadi;

2. Reaktor faoliyatini monitoring qilish (Real-time Monitoring). AESda asosiy energiya manbai — yadroviy reaktor. Reaktor holatini doimiy monitoring qilishda sensorlar orqali olinayotgan ma'lumotlarni real vaqt rejimida tahlil qilish talab etiladi. Machine Learning modellaridan foydalanib, neytron oqimi, reaktor yadrosidagi issiqlik balanslari va boshqa parametrlar asosida potensial xavflar prognoz qilinadi;

3. Energiya ishlab chiqarishni optimallashtirish. AESlar ko'pincha boshqa elektr stansiyalar bilan integratsiyada ishlaydi.

Yuklamaning talabga mos bo'lishi, energiya taqsimotining optimal darajada bo'lishi uchun ma'lumotlarga asoslangan bashorat modellaridan foydalaniladi. Deep Learning yondashuvlari yordamida elektr iste'moli tendensiyalari prognoz qilinadi, energiya ishlab chiqarish esa avtomatik tarzda moslashtiriladi;

4. Xavfsizlik tizimlarini mustahkamlash (Anomaly Detection). AESda eng muhim ustuvor yo'nalish — xavfsizlik. Data Science yordamida tizimlarda noan'anaviy xatti-harakatlar, kutilmagan signallar va favqulodda holatlar oldindan aniqlanadi. Masalan: Radioaktivlik sensori orqali aniqlanadigan noodatiy kuchayishlar, xavfli holatlar sifatida aniqlanib, signal beriladi;

5. Vizual monitoring va boshqaruv panellari uchun aqlli tizimlar. AES operatorlari katta miqdordagi ko'rsatkichlar bilan ishlaydi. Data Science orqali ma'lumotlarni interaktiv grafik interfeyslar yordamida vizual tarzda ko'rsatish, operatorning aniqlik bilan qaror qabul qilishiga imkon yaratadi. Bu esa inson omiliga bog'liq xatoliklar xavfini kamaytiradi.

Yo'nalish	Qo'llanilishi	Texnologiya turi
Nosozlikni oldindan aniqlash	Qurilmadagi og'ishlarni erta aniqlash	Predictive Maintenance

Reaktor monitoringi	Sensor ma'lumotlarini real vaqt rejimida tahlil qilish	Machine Learning / AI
Energiya ishlab chiqarish	Yuklama va talabga moslashtirish	Optimization Algorithms
Xavfsizlikni nazorat qilish	Radioaktivlik va favqulodda holatlarni aniqlash	Anomaly Detection / AI

Endi biz Data Science texnologiyalari joriy etilgan AES bilan an'anaviy, ya'ni klassik tarzda ishlovchi AES o'rtasidagi asosiy farqlarni tahlil qilamiz. Asosiy maqsad — Data Science texnologiyalarining real iqtisodiy, texnik va xavfsizlik bo'yicha samaradorligini ko'rsatish.

1. Ishonchlilik va xizmat ko'rsatish muddati an'anaviy AESlarda. Uskunalar odatda rejalashtirilgan texnik xizmat ko'rsatish asosida ishlaydi. Bu esa keraksiz to'xtashlar, avariya va ehtiyot qismlar yetishmasligi kabi muammolarni keltirib chiqarishi mumkin.

DS qo'llanilgan AESlarda: Predictive Maintenance yondashuvi bilan jihozlar holati doimiy nazoratda bo'ladi. Nosozliklar erta aniqlanib, avariya xavfi kamayadi, uskunaning umr ko'rish muddati uzayadi.

2. Xavfsizlik darajasi an'anaviy AESlarda: Sensorlardan kelayotgan ogohlantirishlar operator tomonidan ko'riladi va qaror inson tomonidan qabul qilinadi. Bu esa inson xatoligiga olib kelishi mumkin.

DS qo'llanilgan AESlarda: Anomaly Detection tizimlari yordamida tizimda yuzaga kelayotgan noodatiy holatlar avtomatik tarzda aniqlanadi va real vaqt rejimida tahlil qilinadi. Bu xavfsizlikni sezilarli darajada oshiradi.

3. Energiya ishlab chiqarish samaradorligi an'anaviy AESlarda: Ishlab chiqarish hajmi ko'pincha taxminiy rejalashtiriladi, bu esa energiya yo'qotishlariga olib keladi (masalan, talabdan ortiq yoki kam ishlab chiqarish).

DS qo'llanilgan AESlarda: Optimization algoritmlari yordamida energiya ishlab chiqarish iste'molga moslashtiriladi. Bu resurslardan tejamkor foydalanish, daromadni oshirish va chiqindilarni kamaytirishga olib keladi.

4. Qaror qabul qilish tezligi an'anaviy AESlarda: Operatorlar ko'plab ma'lumotlarni tahlil qilish uchun vaqt sarflaydi.

DS qo'llanilgan AESlarda: Vizualizatsiya va AI tahlili asosida qarorlar tezroq va ishonchliroq qabul qilinadi. Bu esa AESning umumiy boshqaruv tizimini optimallashtiradi.

Quyidagi grafik orqali yuqoridagi farqlarni foydalanish darajasi bo'yicha ko'rsatamiz: Bu grafikda quyidagi to'rtta asosiy ko'rsatkichlar bo'yicha Data Science qo'llangan AES va qo'llanilmagan AES o'rtasida foydalanish ko'rsatkichi (%) keltirilgan:

Ko'rsatkich	DS qo'llanilmagan AES	DS qo'llanilgan AES
Xavfsizlik darajasi	70%	95%
Uskunalar ishlash muddati	75%	90%
Energiya ishlab chiqarish aniqligi	65%	93%
Operator qaror qabul qilish tezligi	60%	88%

Bu tahlillar orqali ko‘rinadiki, Data Science texnologiyalarining joriy etilishi atom elektr stansiyalarida xavfsizlikni oshiradi, energiya ishlab chiqarishni optimallashtiradi, va qaror qabul qilishda inson xatolarini kamaytiradi. Natijada AESlar yuqori darajadagi ishonchlilik va samaradorlik bilan ishlaydi.

Atom elektr stansiyalarida (AES) Data Science texnologiyalarini joriy etish katta foyda keltirishi mumkin bo‘lsa-da, bu jarayonda bir qator texnik, tashkiliy va ijtimoiy muammolarga duch kelinadi.

Quyida ushbu muammolar tahlil qilinadi va ular uchun taklif qilinadigan yechimlar keltiriladi:

1. Muammo shundaki bizda Infratuzilmaning tayyor emasligi: Ko‘plab AESlarda hali ham eski texnologiyalar mavjud bo‘lib, zamonaviy sensorlar, raqamli tizimlar yoki katta hajmdagi ma’lumotlarni yig‘ish imkoniyati yetarli emas. Yechim sifatida shuni taqdim etishimiz mumkin bo‘ladi: AESlarda raqamli transformatsiya loyihalarini bosqichma-bosqich amalga oshirish lozim. Bu, birinchi navbatda, sensor tizimlarini yangilash, IoT (Internet of Things) qurilmalarni o‘rnatish va ma’lumotlar markazini yaratish orqali amalga oshiriladi.

2. Mutaxassislar tanqisligida muammo shundaki: Data Science va atom energetikasi kesishmasida ishlay oladigan yetarlicha malakali kadrlar mavjud emas. Bunga muqobil yechim, Universitetlar va ilmiy markazlarda kross-soha (Data Science + Energetika) bo‘yicha maxsus dasturlar joriy etilishi kerak. Bu bo‘yicha bizga Mirzo Ulug‘bek vorislari kursi yordam beradi.

3. Ma’lumotlar xavfsizligida ham bir qancha muammolar yuzaga kelishi mumkin bo‘ladi, ya’ni AES kabi muhim obyektlarda ma’lumotlar bilan ishlash yuqori xavfsizlik talab qiladi. Data Science tizimlari orqali yig‘ilayotgan katta hajmdagi ma’lumotlar buzilish yoki hujum xavfiga uchrashi mumkin. Kiberxavfsizlik bo‘yicha zamonaviy yondashuvlar, jumladan kriptografiya, faol monitoring tizimlari, va Zero Trust Architecture asosida himoya choralari ko‘rilishi yechim bo‘la olishi mumkin.

Data Science texnologiyalarini AESlarga joriy etish oson bo‘lmagan, biroq istiqbolli jarayondir. Har bir muammoning amaliy yechimi mavjud va to‘g‘ri strategik yondashuv bilan bu texnologiyalar AES samaradorligini keskin oshirishi mumkin. Texnik modernizatsiya va kadrlar tayyorlash bu yo‘ldagi eng muhim qadamlardir. O‘zbekiston Respublikasi so‘nggi yillarda energetika sohasida izchil islohotlar olib bormoqda. Xususan, atom energetikasi bo‘yicha dastlabki qadamlar tashlanib, AES qurish loyihasi ustida faol ish olib borilmoqda. Ushbu loyihada Data Science texnologiyalarini dastlabki bosqichdanoq joriy etish orqali nafaqat samaradorlikni oshirish, balki xavfsizlik va innovatsion yondashuvlarni ham kafolatlash mumkin.

O‘zbekiston AES loyihasi hozirda loyihalash va rejalashtirish bosqichida. Bu bosqichdayoq Data Science texnologiyalarini jalb qilish orqali quyidagilar amalga oshiriladi:

Ma’lumotlarga asoslangan qarorlar qabul qilish – geologik, meteorologik, texnik va iqtisodiy ma’lumotlar asosida optimal joy tanlash va loyiha modeli yaratish. Raqamli egizak (**Digital Twin**) texnologiyasini yaratish – AESning raqamli simulyatsiyasini ishlab chiqib, kelajakdagi muammolarni bashorat qilish.

Qurilish jarayonini Data Science yordami bilan real vaqt rejimida monitoring qilish mumkin. Dronlar, sensorlar va video nazorat orqali: 1) Qurilish sifati nazorat qilinadi. 2) Xavfsizlik protokollari buzilishining oldi olinadi. 3) Qurilish grafiklaridagi kechikishlar tahlil qilinib, optimallashtirish ishlari olib boriladi.

AES ishga tushirilgach, Data Science texnologiyalari orqali quyidagi imkoniyatlar yuzaga keladi:

Reaktor ish rejimining monitoring orqali – real vaqt ma'lumotlar asosida avtomatik ogohlantirishlar va optimallashtirishlar amalga oshiriladi.

Favqulodda holatlarni bashorat qilish – tarixiy ma'lumotlar va mashina o'rganishi asosida nosozlik ehtimollari aniqlanadi.

Xodimlarning ish faoliyatini tahlil qilishda – xavfsizlik protokollariga rioya qilinayotganini tahlil qilinadi.

Yurtimizda IT va Data Science yo'nalishlari jadal rivojlanmoqda. Bu quyidagi afzalliklarni beradi: Ichki mutaxassislar bazasini shakllantirish – mahalliy universitetlar Data Science bo'yicha kadrlar tayyorlamoqda; Mahalliy innovatsion kompaniyalar bilan hamkorlik – AI, big data va IoT sohasidagi startaplar bilan AES loyihasini integratsiya qilish imkoniyati mavjud; Mahalliyashtirilgan algoritmlar yaratish – O'zbekiston iqlimi, elektr tarmog'i xususiyatlariga mos modellar ishlab chiqish mumkin.

O'zbekiston AES loyihasi hali ilk bosqichda bo'lsa-da, ayni payt Data Science texnologiyalarini shu jarayonga integratsiya qilish katta strategik ahamiyatga ega. Bu orqali AES faqat zamonaviy texnologik inshoot emas, balki innovatsion va xavfsiz energiya manbai sifatida shakllanishi mumkin.

Ko'plab rivojlangan davlatlar AES faoliyatida Data Science, sun'iy intellekt (AI), katta ma'lumotlar (Big Data) va IoT (Internet of Things) texnologiyalaridan keng foydalanmoqda.

Quyidagi misollar ushbu yondashuvning real natijalarini ko'rsatadi:

AQSh. Oak Ridge National Laboratory (ORNL): Reaktor monitoringi va nosozliklarni erta aniqlash tizimlari ishlab chiqilgan; Katta hajmdagi sensor ma'lumotlar asosida real vaqtli xavfsizlik modullari yaratilib, energetika xavfsizligi oshirilga; AESlarda predictive maintenance tizimlari orqali har yili millionlab dollar tejab qolinyapti;

Fransiya. EDF (Électricité de France): Data Science orqali reaktorning termodinamik va mexanik ko'rsatkichlari aniqlik bilan monitoring qilinmoqda; Digital Twin (raqamli egizak) texnologiyasi joriy etilgan — AESning virtual modeli orqali real jarayonlar kuzatilib, simulyatsiya asosida nosozliklar oldi olinmoqda.

Janubiy Koreya. KEPCO: AESlar uchun intellektual xavfsizlik tizimlari ishlab chiqilgan; Mashina o'rganishi asosida xodimlarning ishdagi xatolari aniqlanadi va ularning xavfsizlik bo'yicha bilimlari avtomatik yangilanadi.

Yaponiya. Fukus'hima tajribasi: Fukus'hima avariyasidan so'ng, Yaponiya AESlarida anomaly detection tizimlari joriy etildi; AI asosidagi monitoring orqali reaktordagi minimal og'ishlar ham aniqlanmoqda.

Dunyo tajribasi shuni ko'rsatmoqdaki, Data Science AESlar samaradorligi va xavfsizligini sezilarli oshiradi. Ayniqsa, nosozliklarni oldindan aniqlash, xodimlar xavfsizligi va energiya ishlab chiqarishni optimallashtirish borasida bu texnologiyalar muhim rol o'ynaydi. O'zbekiston esa bu tajribalardan o'rganib, noldan zamonaviy tizim asosida AES barpo etish imkoniyatiga ega. Bu jihat yurtimizning texnologik suverenitetini mustahkamlaydi.

Xulosa

Atom elektr stansiyalarining xavfsiz va samarali faoliyati zamonaviy texnologiyalar bilan chambarchas bog'liq. Mazkur maqolada Data Science texnologiyalarining AESdagi qo'llanilishi yoritildi va bu yondashuvning xalqaro tajribadagi o'rni tahlil qilindi.

Data Science AESdagi nosozliklarni erta aniqlash, reaktor monitoringi va xavfsizlikni oshirish, energiya ishlab chiqarishni optimallashtirish kabi muhim sohalarda hal qiluvchi rol o'ynashi mumkin.

Rivojlangan mamlakatlar tajribasi shuni ko'rsatmoqdaki, AES infratuzilmasini raqamlashtirish nafaqat xavfsizlikni, balki iqtisodiy samaradorlikni ham oshiradi. O'zbekiston AES qurish bosqichida turgani sababli, bizda boshidanoq Data Science texnologiyalarini integratsiya qilish imkoniyati mavjud.

Bu nafaqat texnologik mustaqillik, balki xalqaro hamkorliklar uchun ham yangi yo'llarni ochadi. Kelajakda yurtimizda Data Science mutaxassislarini AES sohasiga jalb etish, ularni tayyorlash va ilmiy-tadqiqotlarni qo'llab-quvvatlash – barqaror energiya ta'minoti va milliy xavfsizlikning muhim tarkibiy qismiga aylanishi kerak.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. IAEA (International Atomic Energy Agency). (2020). Artificial Intelligence for Nuclear Technology and Applications. Vienna: IAEA Publications. <https://www.iaea.org>
2. Ahmad, M., & Khan, F. (2021). Application of Machine Learning and Big Data in Nuclear Power Plants. Journal of Nuclear Engineering and Technology, 53(6), 1592–1605. <https://doi.org/10.1016/j.net.2020.11.012>
3. Tsoy, A., Kim, H., & Park, C. (2020). Data-Driven Approach for Fault Detection in Nuclear Power Plants Using Deep Learning. Energies, 13(9), 2135. <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/9/2135>
4. Qian, Z., & Zhang, Y. (2019). Predictive Maintenance of Nuclear Plant Equipment Using AI Techniques. In Proceedings of the International Conference on Nuclear Engineering (ICONE), ASME. <https://asmedigitalcollection.asme.org>
5. Министерство энергетики Российской Федерации. (2023). Цифровизация в атомной энергетике: современные подходы и решения. Москва: Минэнерго России. <https://minenergo.gov.ru>
6. O'zbekiston Respublikasi Energetika Vazirligi. (2024). O'zbekistonda AES qurilishi va raqamli texnologiyalarning ahamiyati. <https://minenergy.uz>
7. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning. MIT Press. <https://www.deeplearningbook.org>