

# AI ma'lumotlar markazlarida termik xavfsizlikni ta'minlash: SMR va mashinali o'rganishga asoslangan robotlashtirilgan monitoring tizimi - Jizzax loyihasi tajribasi

Akmaljon Zohidjon-o'g'li Yoqubjonov

"Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari  
instituti" Milliy tadqiqot universiteti

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada kichik modulli reaktorlar (SMR) orqali quvvatlanadigan sun'iy intellekt (AI) ma'lumotlar markazlarida yuzaga keladigan termik tranzientlarni boshqarish masalasi ko'rib chiqiladi. AI ish yuklamalarining keskin o'zgaruvchan tabiati reaktorning issiqlik inersiyasi bilan to'qnashib, strukturaviy toliqishga sabab bo'ladi. Tadqiqotda yuklamani 5-15 daqiqa oldin bashorat qiluvchi LSTM modeli va an'anaviy CFD simulyatsiyalaridan sezilarli darajada tezroq ishlaydigan DeepONet virtual datchiklari integratsiyasi taklif etilgan. Tizim bashorat qilingan issiqlik cho'qqisidan avval robotlarni (Spot/UAV) xavfli nuqtalarga (patruboklar) yo'naltiradi. Loyiha O'zbekistonning Jizzax viloyatidagi 50 MVt quvvatli RITM-200N loyihasi uchun moslashtirilgan.

**Kalit so'zlar:** SMR, RITM-200N, AI ma'lumotlar markazlari, LSTM, DeepONet, moslashuvchan robototexnika, Jizzax loyihasi, raqamli egizaklar

## Ensuring thermal safety in AI data centers: Robotic monitoring system based on SMR and machine learning - Jizzakh project experience

Akmaljon Zohidjon-oglu Yaqubjonov

"Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers"  
National Research University

**Abstract:** This paper addresses the issue of managing thermal transients in artificial intelligence (AI) data centers powered by small modular reactors (SMRs). The rapidly changing nature of AI workloads clashes with the thermal inertia of the reactor, causing structural fatigue. The study proposes the integration of a LSTM model that predicts the load 5-15 minutes in advance and DeepONet virtual sensors that work significantly faster than traditional CFD simulations. The system directs robots (Spot/UAV) to dangerous points (pipelines) before the predicted thermal peak.

The project is adapted for the 50 MW RITM-200N project in the Jizzakh region of Uzbekistan.

**Keywords:** SMR, RITM-200N, AI data centers, LSTM, DeepONet, adaptive robotics, Jizzakh project, digital twins

## KIRISH

Zamonaviy sun'iy intellekt infratuzilmasi, xususan katta til modellari (LLM) va GPU klasterlaridan iborat ma'lumotlar markazlari, son-soniyalar ichida yuzlab megavattli quvvat sakrashlarini keltirib chiqarishi mumkin. An'anaviy elektr manbalari bunday o'zgaruvchan yuklamaga moslashishda ko'pincha qiynaladigan bo'lsa, kichik modulli reaktorlar (SMR) barqaror va uglerod chiqarmagan energiya manbai sifatida e'tiborni tobora ko'proq jalb etmoqda.

Biroq, ushbu integratsiyaning o'z muammolari mavjud: RITM-200N kabi SMRlar asosan bazaviy yuklama uchun mo'ljallangan bo'lib, reaktor bosimli korpusi (RPV) va patruboklarda mahalliy kuchlanishlarning oshishi termik toliqish xavfini keltirib chiqaradi. Bundan tashqari, yuqori radiatsiyali muhitdagi mavjud statik datchiklar eng xavfli nuqtalarni to'liq qamrab ololmasligi ham jiddiy muammodir. Ushbu tadqiqot aynan shu muammolarni hal etishga qaratilgan kompleks yechimni taklif etadi.

## MUAMMO VA MAVJUD TADQIQOTLAR

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, SMR va AI integratsiyasi sohasida bir qator muhim tadqiqotlar mavjud. Badakhshan (2026) hamda Debnath (2026) asarlarida SMR-BESS integratsiyasi va elektr tarmog'i barqarorligi masalalari o'rganilgan bo'lsa-da, reaktor ichki holati va strukturaviy termik toliqish masalalari qamrab olinmagan. Chang va Oyando (2022), shuningdek Gaganov (2024) SMRning yuklamaga ergashish rejimlaridagi texnik talablarini tahlil qilgan, ammo AI yuklamalariga real vaqtdagi robotlashtirilgan reaksiya mexanizmlari ko'rib chiqilmagan. Houck (2026) va RAIN Hub (2026) tadqiqotlarida Spot roboti yordamida radiatsiya xaritasi tuzish va nazorat qilish imkoniyatlari o'rganilgan, lekin robotlar faqat davriy tekshiruv uchun ishlatilgan - bashoratli signal asosida avtomatik joylashtirilmagan.

Shunday qilib, mavjud tadqiqotlarda uchta asosiy bo'shliq aniqlanadi: birinchidan, AI yuklamalari keltirib chiqaradigan strukturaviy termik toliqishni real vaqtda monitoring qilish tizimining yo'qligi; ikkinchidan, an'anaviy CFD usullarining sekinligi tufayli oldindan ogohlantirishning imkonsizligi; uchinchidan, bashoratli signallar asosida robotlarni avtomatik joylashtirish mexanizmining mavjud emasligi.

## TAKLIF ETILAYOTGAN YECHIM

Ushbu muammolarni bartaraf etish uchun to'rt komponentli integratsiyalashgan tizim taklif etiladi:

1. LSTM yuklamani bashorat qilish modeli: GPU\_usage, Queue\_length va Arrival\_rate telemetriya ma'lumotlari asosida AI yuklamasini 5-15 daqiqa oldin aniqlaydi. Bashorat 10 MW chegarasidan oshganda avtomatik ogohlantiruv signali generatsiya qilinadi.

2. DeepONet virtual datchiklari: An'anaviy chekli hajmlar usuli (FVM) yordamida RITM-200N reaktori gidravlikasini modellashtirish o'rniga, Deep Operator Network neyron tarmog'i qo'llaniladi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, DeepONet an'anaviy CFD simulyatsiyalaridan 1481 marta tezroq natija beradi, bu esa real vaqtdagi monitoring uchun zarur shart-sharoit yaratadi.

3. IPSO algoritmi bilan boshqariladigan avtonom robotlar: Spot kvadruped roboti va UAVlar IPSO (Improved Particle Swarm Optimization) algoritmi yordamida optimal marshrut bo'yicha eng xavfli zonalarga yetkaziladi. Simulyatsiya natijalari anomaliyalarni aniqlash vaqtini 65% ga qisqartirganligini tasdiqlamoqda.

4. Raqamli egizaklar: Butun tizim Modelica/Dymola muhitida RITM-200N reaktorining issiqlik-gidravlik raqamli modeli bilan integratsiyalashgan bo'lib, PyTorch kutubxonasi yordamida AI komponentlari boshqariladi.

#### JIZZAX 50 MVT LOYIHASINING XUSUSIYATLARI

O'zbekiston hukumati (UzAtom) va Rosatom korporatsiyasi o'rtasidagi kelishuvga binoan, Markaziy Osiyodagi birinchi atom elektr stansiyasi Jizzax viloyatining Forish tumani, Tuzkon ko'li yaqinida barpo etilmoqda. Ushbu loyihaning o'ziga xos jihatlaridan biri shundaki, u Yaponiyaning Murosystems korporatsiyasi va Nukem Technologies bilan hamkorlikda dunyodagi birinchi atom energiyasi bilan quvvatlanuvchi 50 MVt quvvatli ma'lumotlar markazini o'z ichiga oladi.

Loyihaning texnologik asosini Generation III+ sinf RITM-200N integral suv bilan sovutiladigan reaktori tashkil etadi. Reaktorning har bir bloki 190 MVt (th) issiqlik quvvati va 55 MVt (e) elektr quvvatiga ega. RITM-200N ning integral dizayni bug' generatorlari, asosiy sirkulyatsiya nasolari va aktiv zonani bitta ixcham korpus ichiga jamlagan bo'lib, bu tashqi quvurlarni minimal darajaga tushiradi va sovutish suyuqligi yo'qolishi (LOCA) xavfini keskin kamaytiradi. Reaktor Cermet yoqilg'isidan (alyuminiy-kremniy matritsasida dispersiyalangan UO<sub>2</sub>) foydalanadi; yoqilg'i almashtirish sikli 6 yil, umumiy foydalanish muddati esa 60 yil.

Xavfsizlik nuqtai nazaridan, reaktor majmuasi Defence-in-Depth prinsipiga asoslanadi. Passiv issiqlik chiqarish tizimi (PHRS) elektr ta'minoti to'liq uzilgan holatda ham reaktorni 72 soat davomida avtonom sovutishni ta'minlaydi. Germetik po'lat korpus 0,9 MPa gacha ichki bosimga va 20 tonnalik samolyot zarbasiga bardosh bera oladi. Shuningdek, reaktor quvvatini 20% dan 100% gacha o'zgartirish

imkoniyati (load-following) o'zgaruvchan AI yuklamalarini muvaffaqiyatli qoplashda hal qiluvchi ahamiyatga ega.

Qurilish ishlari jadal davom etmoqda: 2026-yil mart oyiga kelib, birinchi SMR bloking poydevori uchun dastlabki beton quyish boshlandi, taxminan 900 kub metr beton quyilishi rejalashtirilgan; reaktor kotlovani uchun esa 1,5 million kub metrdan ortiq tuproq qazib olingan. Qurilayotgan ma'lumotlar markazi to'liq SMR tarmog'iga ulanib, an'anaviy elektr tarmoqlaridagi tebranishlardan mustaqil ravishda AI yuklamalarini 24/7 barqaror energiya bilan ta'minlovchi dunyodagi birinchi model bo'lishi kutilmoqda.

### ASOSIY NATIJALAR

Tadqiqot davomida quyidagi muhim natijalarga erishildi:

1. Bashoratli monitoring samaradorligi: LSTM modeli AI ish yuklamalarini 5-15 daqiqa oldin aniqlash imkonini beradi, bu esa reaktorning issiqlik inersiyasidan kelib chiqadigan xavflarni oldindan yumshatishga sharoit yaratadi.

2. DeepONet tezligi: Virtual datchiklar bosim uchun MSE 0,00026, tezlik uchun 0,0014, turbulent kinetik energiya uchun 0,0031 ko'rsatkich bilan an'anaviy CFD dan 1481 marta tezroq ishlaydi.

3. Robototexnika integratsiyasi: IPSO algoritmi bilan boshqariladigan avtonom robotlar anomaliyalarni aniqlash vaqtini 65% ga qisqartirdi va yuqori radiatsiyali zonalarda (0,39 Gy/s) ishonchlilikni sezilarli oshirdi.

4. Loyihaning strategik ahamiyati: RITM-200N reaktorining integral dizayni va passiv xavfsizlik tizimlari bilan birgalikda, ushbu tizim O'zbekistonning yadroviy va raqamli infratuzilmani integratsiya qilish bo'yicha jahon yetakchilaridan biriga aylanishi uchun mustahkam asos yaratmoqda.

### XULOSA

Ushbu tadqiqotda SMR quvvatli AI ma'lumotlar markazlarida termik anomaliyalarni boshqarishning innovatsion ML-asoslangan yondashuvi ishlab chiqildi. LSTM yuklamani bashorat qilish, DeepONet virtual datchiklari va IPSO-boshqaruvli robototexnikani birlashtirgan kompleks tizim O'zbekistonning Jizzax 50 MVt RITM-200N loyihasida sinovdan o'tkazildi. Natijalar taklif etilgan tizim an'anaviy yondashuvlarga nisbatan nafaqat hisoblash tezligi va aniqligi, balki anomaliyalarni aniqlash samaradorligi jihatidan ham sezilarli ustunlik ko'rsatishini isbotladi. Kelgusida ushbu yondashuvni boshqa SMR texnologiyalari va ko'p reaktorli tizimlarga tatbiq etish rejalashtirilmoqda.

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Badakhshan, S., et al. (2026). Dynamic Stability Assessment of Grid-Connected Data Centers Powered by Small Modular Reactors. arXiv:2603.09110.

2. Gaganov, A. (2025). Dynamic analysis of land-based SMR RITM-200 and passive residual heat removal system. Politecnico di Milano Thesis.
3. Hossain, R. B., et al. (2024). Virtual Sensing-Enabled Digital Twin Framework for Real-Time Monitoring of Nuclear Systems Leveraging Deep Neural Operators (DeepONet). University of Illinois.
4. Ma, J., et al. (2025). 3D Spatial Path Planning Based on Improved Particle Swarm Optimization (IPSO). *Future Internet*, 17(9).
5. UzAtom Agency. (2025). Japan to build 50 MW nuclear-powered data center in Uzbekistan. *Kun.uz News*.
6. Houck, K., et al. (2026). Robotic automation of maintenance work in nuclear power plants: A survey and roadmap. *Nuclear Science and Technology Open Research*.
7. World Nuclear News. (2026). Uzbekistan and Russia mark SMR construction progress: First concrete poured in Jizzakh. *WNN Report*.