

**AQLLI ENERGETIKA TIZIMLARIDA SVM ALGORITMI ASOSIDA
AVTOMATLASHTIRISHNING TEXNOLOGIK AFZALLIKLARI**

Abraev Tursunpolat Azamat o'g'li

Toshkent davlat texnika universiteti

doktorantura talabasi

Samad Nimatov - t.f.d dotsent

Toshkent davlat texnika universiteti,

Elektr texnikasi kafedrası dotsenti

E-mail: abraevtursunpulat@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqolada aqlli energiya tizimlarida avtomatlashtirishning texnologik afzalliklari va sun'iy intellekt algoritmlaridan biri — Support Vector Machine (SVM) algoritmining qo'llanilishi tahlil qilinadi. Ayniqsa, MEUT(AC) qurilmalari bilan integratsiyada SVM yordamida nosozliklarni aniqlash, tizim holatini baholash, reaktiv quvvatni boshqarish va optimal joylashtirish kabi jarayonlar samarali tarzda avtomatlashtirilishi yoritiladi.

Kalit so'zlar: Aqlli energiya tizimi, SVM, MEUT(AC), SCADA, avtomatlashtirish, sun'iy intellekt, nosozlik aniqlash, texnik xizmat, optimal joylashtirish.

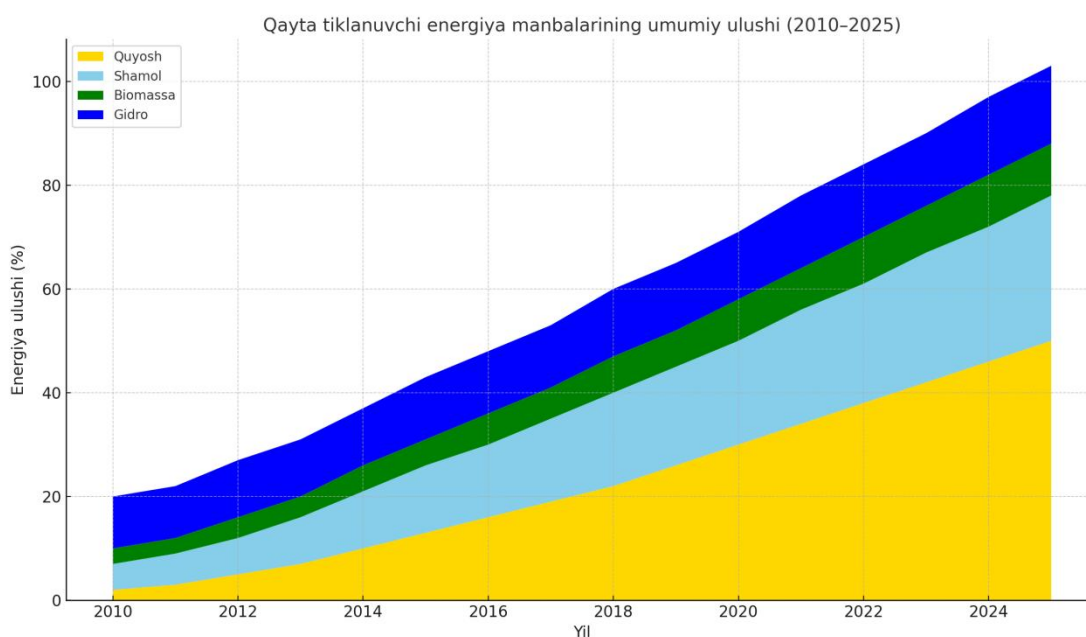
Аннотация: В данной статье рассматриваются технологические преимущества автоматизации в интеллектуальных энергетических системах на основе алгоритмов искусственного интеллекта. Особое внимание уделено алгоритму опорных векторов (SVM), его применению для оценки состояния системы, обнаружения и классификации неисправностей, прогнозного технического обслуживания и оптимального размещения устройств компенсации реактивной мощности (MEUT(AC)). Приводятся практические примеры интеграции SVM с SCADA-системами и подчеркивается его роль в обеспечении устойчивости и надежности энергосистем.

Ключевые слова: интеллектуальные энергетические системы, автоматизация, алгоритм опорных векторов (SVM), SCADA, MEUT(AC), классификация, обнаружение неисправностей, прогнозное техническое обслуживание, оптимальное размещение, реактивная мощность.

Annotation: This article examines the technological advantages of automation in smart energy systems based on artificial intelligence algorithms such as Support Vector Machines (SVM). The integration of SVM into SCADA and FACTS (Flexible AC Transmission Systems) devices enables effective system status evaluation, early fault detection, predictive maintenance, and optimal equipment placement. The use of SVM improves power grid stability and enhances automated control efficiency.

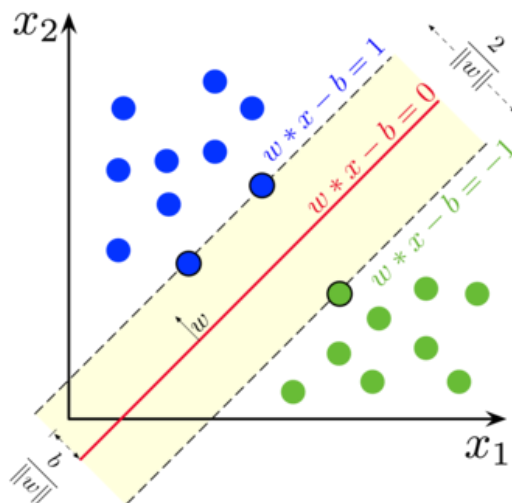
Keywords: smart energy systems, automation, Support Vector Machine (SVM) algorithm, SCADA, FACTS (Flexible AC Transmission Systems), classification, fault detection, predictive maintenance, optimal placement, reactive power.

Kirish. Bugungi kunda qayta tiklanuvchi energiya manbalarining energiya ishlab chiqarishdagi umumiy ulushi, ayniqsa 1-rasmda ko'rsatilganidek quyosh va shamol energiyasining ulushi keskin oshmoqda. Tabiatan o'zgaruvchan xarakterga ega ushbu manbalar aqlli energiya tizimlari bilangina samarali bo'la oladi. Aqlli energiya tizimlari yuqori darajadagi avtomatlashtirish va ishonchlilikni ta'minlash uchun sun'iy intellekt algoritmlariga tayanadi. Ayniqsa, elektr tarmoqlari xavfsizligi va samaradorligini oshirishda SCADA tizimi bilan bog'langan MEUT(AC) qurilmalari muhim rol o'ynaydi. SVM algoritmi bu jarayonlarda tizim holatini aniqlash, bashorat qilish, texnik xizmatni rejalashtirish kabi ko'plab vazifalarni bajarishga imkon beradi.



1-rasm. Qayta tiklanuvchi energiya manbalarining umumiy ulushi

SVM Algoritmi haqida qisqacha : SVM (Support Vector Machine) — bu nazoratli o'rganishga asoslangan mashinaviy o'rganish algoritmi bo'lib, klassifikatsiya va regressiya muammolarini hal etishda ishlatiladi [1]. 2-rasmda tasvirlanganidek u sinflar orasidagi maksimal marginni saqlovchi gipertekislikni aniqlashga intiladi.



2-rasm. SVM illustratsiyasi.

Matematik formulasi:

$$f(x) = w^T x + b \quad (1)$$

Bu yerda: w — vaznlar vektori; x — kirish vektori; b — offset (bias) [2].

SVM va SCADA tizimi integratsiyasi: SCADA tizimi real vaqtli monitoring va nazoratni amalga oshiradi. SVM modelini yaratish:

SVM turlari: 1. Ikki sinfli klassifikatsiya (normal va nosoz holat) 2. Ko‘p sinfli klassifikatsiya (hodisa turlari) 3. SVM regressiyasi (SVR) (prognozlash yoki aniqlash uchun)

Kernel tanlash: 1. Chiziqli kernel – sodda holatlar uchun 2. RBF (gauss) kernel – murakkab, chiziqli bo‘lmagan holatlar uchun 3. Polinom yoki sigmoidal kernel – maxsus hollarda

SVM esa quyidagi yo‘nalishlarda integratsiya qilinadi:

1. Tizim holatini aniqlash

SCADA orqali tok, kuchlanish, quvvat faktor, va chastota doimiy kuzatib boriladi. SVM ushbu ma’lumotlarga asoslanib tarmoqdagi reaktiv yuklamani aniqlaydi va kompensatsiyani amalga oshiradi.

Misol: Quyoshli kunlarda quyosh elektr stansiyasi maksimal ishlab chiqarishga chiqadi. SCADA tizimi momental kuchlanish va tok o‘zgarishlarini qayd etadi.

SVM: Tizimdagi ortiqcha reaktiv quvvatni aniqlab, uni yutish orqali kuchlanishning haddan oshib ketishining oldini oladi.

2. Anomaliyalarni aniqlash

SCADA real vaqtli signal tahlili orqali odatiy holatdan chetga chiqqan parametrlarni aniqlaydi. SVM anomaliyalarga tezkor javob berib, reaktiv quvvatni moslashtiradi.

Misol: Bulutli ob-havo tufayli quyosh nurlanishi birdan pasayadi va kuchlanishda keskin tushish kuzatiladi.

SCADA: Kuchlanish pasayganini aniqlaydi va signal yuboradi.

SVM: Zudlik bilan reaktiv quvvatni injeksiya qilib kuchlanishni normallashtiradi.

3. Nosozliklarni tasniflash

SCADA nosozliklarni avtomatik aniqlaydi (masalan, kuchlanish sathi pasayishi).SVM ushbu holatlarda o'zini himoya rejimiga o'tkazadi yoki zarur kompensatsiyani ta'minlaydi.

Misol: Transformatorga yaqin joyda qisqa tutashuv ro'y beradi va kuchlanish keskin pasayadi.

SCADA: Bu hodisani aniqlaydi va uni "qisqa tutashuv" sifatida tasniflaydi.

SVM: O'zini muhofaza rejimiga o'tkazadi yoki kuchlanish tiklanganidan so'ng reaktiv quvvat bilan yordam beradi.

4. Prognozli texnik xizmat

SCADA tarmoqdagi ish yuklamalari va stresslar asosida statistik ma'lumotlar yig'adi.SVM ish faoliyatining tarixiy ko'rsatkichlariga asoslanib texnik xizmatga ehtiyoj yuzaga kelishini prognoz qiladi.

Misol: SVM oxirgi 6 oyda har oyda haddan ortiq ishlagan va doimiy issiqlik signalini yuborgan.

SCADA: Ishlash statistikasi asosida kelgusi oyning o'rtalariga texnik xizmat rejalashtiradi.

SVM: Tizimga ogohlantirish yuboradi: "Kondensator banki harorati limitga yaqinlashmoqda."

5. Optimal joylashtirish

SCADA tizimi butun tarmoq bo'ylab ma'lumot yig'adi.Bu orqali SVM qurilmalari uchun eng samarali joylashuv nuqtalari aniqlanadi (masalan, eng ko'p reaktiv yuklama bo'ladigan joylar).

Misol: SCADA tizimi tarmoqda 3ta joyda muntazam kuchlanish pastligi qayd etdi.

Tahlil natijasida, aynan shu uch nuqtaga SVM o'rnatish tavsiya qilinadi.

Natija: Reaktiv quvvat manbalari optimal joylashgan va kuchlanish barqaror bo'ladi.

6. Reaktiv quvvatni boshqarish

SVM SCADA orqali kelgan buyruqlarga asoslanib reaktiv quvvatni avtomatik tarzda boshqaradi.Bu orqali kuchlanish barqarorligi va energiya sifati yaxshilanadi.

Misol: Kunduzi iste'molchilar tomonidan reaktiv quvvat talab ortadi (masalan, sanoat zonasi ish boshlaydi).

SCADA: Reaktiv quvvat balansidan chiqishni aniqlaydi.

SVM: O'sha hududda kerakli miqdorda reaktiv quvvatni injeksiya qiladi.

7. Energiya sarfini prognoz qilish

SCADA tizimi ishlatilgan quvvat, vaqt, yuklama grafiklari asosida energiya sarfini oldindan prognozlaydi. SVM esa bu prognozlarga ko'ra reaktiv quvvat bilan optimallashtirish ishlarini amalga oshiradi.

Misol: Har hafta yakshanba kunlari zavodlarda ishlab chiqarish to'xtaydi va iste'mol kamayadi.

SCADA: Oldingi ma'lumotlar asosida iste'mol prognozini yaratadi.

SVM: Reaktiv quvvat ishlab chiqarishni avtomatik ravishda kamaytiradi, energiya tejab qoladi.

Fazani Siljituvchi Transformator(FST) va SVM ni integratsiyalash (qo'shib ishlatish)

1-misol: Quvvat oqimini prognozlash va boshqarish.

SVM regressiya modeli real va reaktiv quvvat, kuchlanish, ob-havo kabi ko'rsatkichlarga asoslanib, kelajakdagi quvvat oqimini oldindan prognozlaydi. FST transformatori prognoz qilingan oqim asosida optimal faza burchagini o'rnatadi va tarmoq yuklamasini muvozanatlashtiradi.

2-misol: Tarmoq tiqilinchiligini boshqarish.

SVM klassifikatori ortiqcha yuklanish (tiqilinch) holatini oldindan aniqlaydi. FST esa fazani siljitish orqali quvvatni boshqa, kam yuklangan liniyaga yo'naltiradi.

3-misol: Dinamik barqarorlikni baholash.

SVM tizim holatini "barqaror", "barqaror emas", "og'ir holat" deb baholaydi. FST esa quvvat oqimini kerakli tarzda o'zgartiradi.

Tizim arxitekturası:

SCADA/PMU ma'lumotlari → Belgilarni ajratish → SVM modeli → FST optimal burchak sozlash

(V, I, P, Q) ($\Delta\theta$, dP/dt) (Klassifikatsiya yoki Regressiya)
(Angle Setting)

Kirishlar: Kuchlanish, faza burchagi farqi ($\Delta\theta$), tok, reaktiv quvvat

Chiqish: FST uchun optimal faza burchagini sozlash

1-jadval. SVM va FST integratsiyasi xususiyatlari

Xususiyat	Foyda
Real vaqtli qarorlar	SVM tezkor qaror qabul qilib FST ni dinamik boshqaradi
Moslashuvchanlik	Model yangi holatlarga o'rganib moslasha oladi
Yuklamani muvozanatlashtirish	FSTlar SVM bashoratlari asosida quvvat oqimini yo'naltiradi
Iqtisodiy foyda	Jarimalarni kamaytirish

Amaliy misollar

Vaziyat: Quyosh energiyasi yuqori bo'lgan paytda bir uzatish liniyasi haddan tashqari yuklanmoqda.

SVM bashorati: 15 daqiqadan keyin yuklanish oshishini ko'rsatadi.

FST harakati: Quvvat oqimini boshqa liniyaga yo'naltirish uchun fazani o'zgartiradi.

Natija: Tarmoq barqarorligi saqlanadi, energiya ishlab chiqarilishi kamaytirilmaydi.

Phasor Measurement Unit (PMU) ma'lumotlarini SVM bilan integratsiya qilish orqali elektr energetika tizimlarini yuqori aniqlikda kuzatish

o'llanilishi: 1.Hodisalarni klassifikatsiya qilish (masalan, avariya, buzilish, normal holat) 2.Noyob holatlarni aniqlash 3.Holatni aniqlashda yordamchi vosita sifatida 4.Yuklama prognozi 5.Tizim barqarorligini kuzatish 6. Real vaqtlil monitoringga integratsiya.

IEEE C37.118 asosida PMU ma'lumotlarini yig'ish va oldindan ishlov berish

PMUlar quyidagi ma'lumotlarni sinxron tarzda o'lchaydi: 1.Kuchlanish va tok fazorlari [5]. 2.Chastota 3.Chastotaning o'zgarish tezligi (ROCOF)

Oldindan ishlov berish bosqichlari: 1.Shovqinni filtrlash (harakatlanuvchi o'rtacha, wavelet transformasi) 2.Yetishmayotgan ma'lumotlarni to'ldirish (interpolyatsiya, kNN)

Xususiyatlar chiqarish: 1.Kuchlanish qiymatlari va burchaklari[6]. 2.Chastota og'ishlari (ROCOF). 3. Sekvens komponentalari (musbat, manfiy, nol).

SVM modelini SCADA yoki EMS tizimlariga joylashtirish

Model chiqishi: hodisa ogohlantirishlari, signal bayroqlari yoki vizual ko'rsatkichlar

Natijalarni baholash

Baholash mezonlari:1.Aniqlik, aniqlik (precision), chaqiruv (recall), F1-skori – klassifikatsiya uchun 2. MAE, RMSE – regressiya uchun 3.Yolg'on ijobiy/salbiy ko'rsatkichlar

Qo'shimcha:1.Kechikish vaqti 2. Kengayuvchanlik

Misol: Hodisa klassifikatsiyasi

Maqsad: PMU orqali avariya va o'zgarishlarni aniqlash

Kiritma: 30 tsikl PMU ma'lumotlari (kuchlanish, chastota)

Xususiyatlar: Statistika + chastota domeni belgilari

Natija: Hodisa turi (avariya, yuklama o'zgarishi, h.k.)

SVM Algoritmining Texnologik Afzalliklari

- Tizim holatini aniq baholash imkoniyati
- Nosozliklarni erta aniqlash va xavfsizlikni oshirish
- MEUT(AC) qurilmalari ish faoliyatini optimallashtirish
- Reaktiv quvvat balansini boshqarish

- Texnik xizmat muddatini oldindan belgilash

Xulosa: SVM algoritmining aqlli energiya tizimlarida qo'llanilishi, ayniqsa MEUT(AC) qurilmalarining integratsiyasi orqali elektr tarmoqlarining barqarorligini oshirishga xizmat qiladi. U tizimni real vaqt rejimida nazorat qilish, xavfli holatlarni prognozlash va avtomatlashtirilgan boshqaruvni ta'minlashda samarali vosita sifatida qaralmoqda.

Yuqorida keltirilgan tahlillar asosida, aqlli energetika tizimlarida SVM (Support Vector Machine) algoritmining qo'llanilishi elektr tarmoqlari samaradorligini sezilarli darajada oshirishi isbotlandi. Ayniqsa, SCADA tizimi bilan integratsiyada SVM algoritmi tizim holatini baholash, anomaliyalarni aniqlash, reaktiv quvvatni boshqarish hamda nosozliklarni avtomatik tasniflash imkonini yaratadi. SVM algoritmining amaliy qo'llanilishi energiya iste'molining prognozini yaxshilash, ekspluatatsion xarajatlarni kamaytirish, texnik xizmatni oldindan rejalashtirish va tarmoqda yuzaga keladigan xavf-xatarlarni erta aniqlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Bu esa sun'iy intellekt algoritmlarining energetika sohasida yuqori texnologik qadriyatga ega ekanini yana bir bor tasdiqlaydi. Kelajakda bunday algoritmlarni SCADA va boshqa raqamli boshqaruv tizimlariga keng joriy etish orqali aqlli energiya tarmoqlarining ishonchliligini va iqtisodiy samaradorligini yangi bosqichga olib chiqish mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Vapnik, V. N. (1995). The Nature of Statistical Learning Theory. Springer.
2. Bishop, C. M. (2006). Pattern Recognition and Machine Learning. Springer.
3. Kundur, P. (1994). Power System Stability and Control. McGraw-Hill.
4. Glover, J. D., Sarma, M. S., & Overbye, T. J. (2011). Power System Analysis and Design. Cengage Learning.
5. IEEE Power & Energy Society. Standards on SCADA and PMU technologies.
6. Jabr, R. A., & Pal, B. C. (2009). A flexible AC transmission system (FACTS) controller based on SVM. IEEE Transactions on Power Systems.