

## **ROLE OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS IN IMPROVING THE EFFICIENCY OF THERMAL POWER PLANTS**

**Nishonbaev Abdulaziz Tursunboy o'g'li**

Master`s student at Tashkent State Technical University  
named after Islam Karimov Teacher at Uchkurgan college No 1

### **Annotation**

This article comprehensively analyzes the improvement of energy efficiency, reliability, and environmental performance in thermal power plants (TPP) through the implementation of automatic control systems. The integration of modern distributed control systems (DCS), SCADA, energy management systems (EMS), predictive diagnostics (AMS), and artificial intelligence-based solutions into technological processes is highlighted. The economic and technical effectiveness of automation is evaluated in detail using the example of digitalization programs implemented in Uzbekistan's TPPs. The article also examines technical, personnel, and regulatory barriers to automation development and proposes recommendations to overcome them.

**Keywords:** thermal power plant, automatic control systems, DCS, SCADA, energy efficiency, digitalization, predictive diagnostics, artificial intelligence, cybersecurity.

## **ISSIQLIK ELEKTR MARKAZLARI SAMARADORLIGINI OSHIRISHDA AVTOMATIK BOSHQARUV TIZIMLARINING ROLITHE**

**Nishonbayev Abdulaziz Tursunboy o'g'li**

**Islom Karimov nomidagi**

**Toshkent davlat texnika universiteti magistranti**

**Uchqo'rg'on tumani 1-son texnikumi o'qituvchisi**

### **Annotatsiya**

Ushbu maqolada issiqlik elektr markazlari (IEM) faoliyatida avtomatik boshqaruv tizimlarini joriy etish orqali energiya samaradorligi, ishonchlilik va ekologik

ko'rsatkichlarni oshirish masalalari kompleks tarzda tahlil qilinadi. Zamonaviy taqsimlangan boshqaruv tizimlari (DCS), SCADA, energiya boshqaruvi tizimlari (EMS), prognozli diagnostika (AMS) va sun'iy intellektga asoslangan yechimlarning texnologik jarayonlarga integratsiyasi yoritilgan. O'zbekiston IEMlarida amalga oshirilayotgan raqamlashtirish dasturlari misolida avtomatlashtirishning iqtisodiy va texnik samaradorligi batafsil baholanadi. Maqolada shuningdek, avtomatlashtirishni rivojlantirish yo'lidagi texnik, kadrlar va normativ to'siqlar tahlil qilinib, ularni bartaraf etish bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqilgan.

**Kalit so'zlar:** issiqlik elektr markazi, avtomatik boshqaruv tizimlari, DCS, SCADA, energiya samaradorligi, raqamlashtirish, prognozli diagnostika, sun'iy intellekt, kiberxavfsizlik.

## KIRISH

Issiqlik elektr markazlari (IEM) – bugungi kunda dunyo energetika tizimining asosini tashkil etuvchi muhim infratuzilma obyektlari hisoblanadi. Xalqaro energiya agentligi (IEA) ma'lumotlariga ko'ra, global miqyosda elektr energiyasining qariyb 63 % i issiqlik elektr stansiyalarida ishlab chiqariladi [1]. O'zbekistonda bu ko'rsatkich yanada yuqori – 85 % dan ortiq elektr energiyasi va deyarli barcha markazlashtirilgan issiqlik ta'minoti IEMlar hissasiga to'g'ri keladi. Mamlakat energetika tizimida 40 dan ortiq yirik IEM faoliyat yuritadi, ularning aksariyati 1970–1990 yillarda qurilgan bo'lib, texnologik jihatdan eskirgan [2].

So'nggi yillarda yoqilg'i-energetika resurslariga bo'lgan narxlarning o'zgaruvchanligi, ekologik talablarning keskinlashuvi (Parij iqlim bitimi, Yevropa Ittifoqining karbonat angidrid chiqindilarini kamaytirish bo'yicha mexanizmlari) va energiya xavfsizligiga bo'lgan e'tibor ushbu obyektlarning samaradorligini tubdan oshirishni taqozo etmoqda. O'zbekiston Respublikasining "Energiya sektorini isloh qilish va barqaror rivojlantirish

konsepsiyasi 2025–2030” da IEMlarni modernizatsiya qilish, shu jumladan boshqaruv tizimlarini raqamlashtirish ustuvor vazifa sifatida belgilangan [3].

An’anaviy IEMlarda texnologik jarayonlarni boshqarish asosan operatorlarning vizual kuzatuvi va mahalliy asboblarning ko‘rsatkichlariga tayangan holda amalga oshiriladi. Bunday yondashuv quyidagi muammolarni keltirib chiqaradi:

- Yoqilg‘i sarfining optimal bo‘lmasligi (yonish jarayonidagi havo/yoqilg‘i nisbati vaqt o‘tishi bilan o‘zgarib boruvchi omillar – yoqilg‘i sifati, atmosfera sharoiti – ta’sirida optimaldan chetga chiqadi);
- Uskunalarining haddan tashqari yuklanishi va resursining noto‘g‘ri sarflanishi;
- Favqulodda to‘xtab qolishlar sonining ko‘payishi (insan omili, kechikkan reaksiya);
- Atrof-muhitga chiqariladigan zararli moddalar ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ) miqdorining me’yorlardan yuqori bo‘lishi.

Avtomatik boshqaruv tizimlarini (ABT) keng joriy etish ushbu muammolarni hal etishning eng samarali yo‘li hisoblanadi. Zamonaviy ABTlar real vaqt rejimida minglab parametrlarni qayta ishlash, matematik modellashtirish va optimallashtirish algoritmlari asosida jarayonlarni avtonom boshqarish imkonini beradi.

Ushbu maqolaning asosiy maqsadi – IEMlarda qo‘llaniladigan avtomatik tizimlarning turlari, ularning texnik-iqtisodiy va ekologik samaradorlik ko‘rsatkichlariga ta’sirini IMRAD tamoyili asosida tizimli yoritish, shuningdek O‘zbekiston sharoitida amaliyotga joriy etish tajribasini va istiqbollarni batafsil tahlil qilishdan iborat.

## **METODLAR**

Tadqiqot metodologiyasi bir necha bosqichni o‘z ichiga oladi: avtomatlashtirish tizimlarini funktsional tasniflash, samaradorlik ko‘rsatkichlarini aniqlash, ma’lumotlarni yig‘ish va statistik tahlil qilish, shuningdek iqtisodiy samaradorlikni baholash.

## 2.1. Avtomatlashtirish tizimlarining funktsional tasnifi

IEMlarda qo'llaniladigan avtomatik tizimlar ularning vazifalari va iyerarxik darajasiga ko'ra quyidagi guruhlarga bo'linadi:

- **DCS (Distributed Control System)** – taqsimlangan boshqaruv tizimi. DCS butun stansiya bo'yicha (qozon, turbina, generator, yordamchi mexanizmlar) texnologik jarayonlarni markazlashtirilgan monitoring va boshqarish imkonini beradi. DCS tarkibiga kontrollerlar, operator stansiyalari, muhandislik stansiyalari va aloqa tarmoqlari kiradi. Zamonaviy DCS (Siemens SPPA-T3000, ABB 800xA, Honeywell Experion) PID-regulyatorlardan tortib model-prediktiv boshqaruv (MPC) algoritmlarigacha bo'lgan vositalarni o'z ichiga oladi.
- **SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)** – dispetcherlik boshqaruvi va ma'lumotlarni yig'ish tizimi. SCADA yuqori darajadagi kuzatuv, tarixiy ma'lumotlarni arxivlash, signalizatsiya va masofaviy boshqarish vazifalarini bajaradi. O'zbekiston IEMlarida SCADA tizimlari asosan "O'zbekiston elektr energiyasi" AJ ning Milliy dispetcherlik markazi bilan integratsiyalashgan.
- **AMS (Advanced Monitoring & Diagnostics)** – ilg'or monitoring va diagnostika tizimi. AMS uskunalar holatini real vaqtda kuzatib boradi: tebranish, harorat, bosim, izolyatsiya qarshiligi, yog' tarkibi kabi parametrlarni tahlil qiladi. Mashinaviy o'rganish algoritmlari yordamida nosozliklarni erta aniqlaydi va qolgan ishlash muddatini (RUL – Remaining Useful Life) prognoz qiladi.
- **EMS (Energy Management System)** – energiya oqimlarini boshqarish tizimi. EMS bloklar o'rtasida yuklamani iqtisodiy optimal taqsimlaydi, o'z ehtiyoj uchun sarflanadigan elektr energiyasini minimallashtiradi, yoqilg'i sifatiga qarab rejimlarni optimallashtiradi.

- **AI/ML asosidagi tizimlar** – sun’iy intellekt va mashinaviy o‘rganish algoritmlari. Ular yonish jarayonini o‘z-o‘zini sozlash, ekspluatatsion xatolarni prognozlash, energiya balansini optimallashtirish kabi vazifalarni bajaradi.

## 2.2. Samaradorlik ko‘rsatkichlari va ularni baholash mezonlari

Avtomatlashtirish samaradorligi quyidagi asosiy va qo‘shimcha mezonlar bo‘yicha baholandi:

### **Asosiy ko‘rsatkichlar:**

1. Solishtirma yoqilg‘i sarfi (g/kVt·soat) – elektr energiyasining 1 kVt·soatiga sarflangan shartli yoqilg‘i miqdori.
2. O‘z ehtiyoj uchun elektr energiya sarfi (%) – stansiyaning o‘z texnologik ehtiyojlariga sarflangan energiyaning umumiy ishlab chiqarishga nisbati.
3. Foydali ish koeffitsiyenti (FIK, %) – elektr energiyasi va issiqlik energiyasining umumiy ishlab chiqarilgan energiyaga nisbati.
4. Uskunalarining ishdan chiqishlari orasidagi o‘rtacha vaqt (MTBF – Mean Time Between Failures), soat.
5. Favqulodda to‘xtashlar soni (yiliga).

### **Qo‘shimcha**

### **ko‘rsatkichlar:**

6. Atmosferaga chiqariladigan zararli moddalar miqdori ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ), mg/Nm<sup>3</sup>.
7. Operator xatolari tufayli yuzaga kelgan avariya soni.
8. Avtomatlashtirish loyihalarining qaytarilish muddati (yil).

## 2.3. Ma’lumotlar bazasi va tahlil usullari

Tahlil uchun quyidagi ma’lumot manbalaridan foydalanildi:

- Xalqaro energetika agentligi (IEA), Jahon banki va xalqaro energiya kompaniyalarining (Siemens, GE, ABB) 2015–2025 yillardagi ochiq hisobotlari;

- “O‘zbekiston elektr energiyasi” AJ va uning tarkibidagi IEMlar (Toshkent IEM, Navoiy IEM, Takhiatosh IEM, Angren IEM, Sirdaryo IEM) bo‘yicha 2020–2025 yillardagi texnik hisobotlar va modernizatsiya loyihalari ma’lumotlari;
- O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi va Ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o‘zgarishi vazirligining statistik ma’lumotlari;
- Ilmiy adabiyotlar (Scopus, Web of Science bazalaridagi maqolalar).

Ma’lumotlarni qayta ishlashda tavsifiy statistika, dinamik qatorlar tahlili va qiyosiy baholash usullari qo‘llanildi. Iqtisodiy samaradorlikni hisoblashda diskontlangan pul oqimlari (DCF) va sof joriy qiymat (NPV) usullaridan foydalanildi.

## **NATIJALAR**

### **3.1. Yoqilg‘i sarfi va FIK dinamikasi**

Avtomatik yonishni rostdash tizimlari joriy etilgan IEMlarda solishtirma yoqilg‘i sarfi sezilarli darajada kamaydi. 2015–2025 yillar oralig‘ida modernizatsiya qilingan 12 ta energoblok bo‘yicha o‘rtacha ko‘rsatkichlar 1-jadvalda keltirilgan.

#### **1-jadval – Solishtirma yoqilg‘i sarfi o‘zgarishi (g/kVt·soat)**

IEM nomi	Blok №	Modernizatsiya yili	ABT turi	Avvalgi sarf	Keyingi sarf	Kamayish (%)
Angren IEM	4	2022–2024	DCS (Siemens)	336,2	322,4	4,1
Toshkent IEM	3	2021–2023	DCS (ABB)	342,7	328,1	4,3
Navoiy IEM	2	2023–2025	DCS (Honeywell)	339,5	325,8	4,0
Takhiatosh IEM	1	2020–2022	DCS (Yerli)	348,1	334,3	4,0

Sirdaryo IEM	5	2024	DCS (Siemens)	344,0	329,5	4,2
--------------	---	------	---------------	-------	-------	-----

O‘rtacha kamayish 4,1 % ni tashkil etdi. Natijada stansiyalarning o‘rtacha FIK i 36,4 % dan 38,1 % ga oshdi. Bu ko‘rsatkich zamonaviy gaz turbinali qurilmalarning FIK (55–60 %) darajasiga yetmasa-da, mavjud infratuzilma uchun sezilarli yutuq hisoblanadi.

### 3.2. O‘z ehtiyoj uchun elektr energiya sarfi

Chastotani rostdash bilan ishlaydigan haydovchilar (VFD – Variable Frequency Drive) va avtomatlashtirilgan nasos-ventilyator agregatlari yordamida o‘z ehtiyoj sarfi sezilarli kamaytirildi. 2-jadvalda ayrim stansiyalar bo‘yicha o‘z ehtiyoj sarfi o‘zgarishi keltirilgan.

#### 2-jadval – O‘z ehtiyoj sarfi o‘zgarishi (%)

IEM nomi	Amalga oshirilgan chora	Avvalgi sarf	Keyingi sarf	Kamayish (%)
Toshkent IEM	5 ta tarmoq nasosiga VFD	8,2	7,1	13,4
Angren IEM	8 ta ventilyatorga VFD	7,9	6,8	13,9
Navoiy IEM	EMS orqali yuklama optimizatsiyasi	8,5	7,4	12,9
Takhiatosh IEM	Nasos agregatlarini avtomatlashtirish	8,8	7,7	12,5

O‘rtacha kamayish 13,2 % ni tashkil etdi. Bu ko‘rsatkich bir yilda minglab megavatt-soat elektr energiyasini tejash imkonini berdi.

### 3.3. Uskunalar ishonchliligi va favqulodda to‘xtashlar

Prognozli diagnostika tizimlari (AMS) joriy etilgan stansiyalarda rejadan tashqari to‘xtashlar soni va MTBF ko‘rsatkichi yaxshilandi. 3-jadvalda Navoiy IEM misolida 2023–2025 yillardagi ko‘rsatkichlar keltirilgan.

### 3-jadval – Navoiy IEMda ishonchlilik ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	2023 (AMS dan oldin)	2024 (AMS joriy etilgan)	2025 (1-chorak)
Rejadan tashqari to‘xtashlar soni	14	9	2 (prognozda 10)
MTBF, soat	1250	1650	1720
O‘rtacha ta‘mirlash vaqti (MTTR), soat	48	42	40

AMS tizimi 2024 yilda ikkita turbina podshipnikidagi nuqsonni erta bosqichda aniqlab, jiddiy avariyaning oldini oldi. Shuningdek, podshipniklarni almashtirish muddati optimal rejalashtirilib, 15 % ta‘mirlash xarajatlari qisqardi.

#### 3.4. Ekologik ko‘rsatkichlar

Yonish jarayonini avtomatik optimallashtirish va chiqindi gazlarni nazorat qilish tizimlari NO<sub>x</sub> va SO<sub>2</sub> chiqindilarini sezilarli darajada kamaytirdi. 4-jadvalda Angren IEM 4-blokida o‘lchangan ko‘rsatkichlar keltirilgan.

#### 4-jadval – Chiqindilar o‘zgarishi (mg/Nm<sup>3</sup>)

Zararli modda	Avvalgi (2022)	Keyingi (2024)	Kamayish (%)	Ruxsat etilgan maksimal miqdor
NO <sub>x</sub>	420	315	25,0	350
SO <sub>2</sub>	185	162	12,4	200
CO	95	78	17,9	100

Olingan natijalar ekologiya vazirligi tomonidan belgilangan ruxsat etilgan maksimal miqdorlardan past darajada saqlanishini ko‘rsatdi. Bu stansiyaning ekologik to‘lovlarini kamaytirishga ham olib keldi.

### 3.5. Iqtisodiy samaradorlik

O‘rganilgan 8 ta modernizatsiya loyihasi bo‘yicha iqtisodiy samaradorlik tahlili quyidagi natijalarni berdi:

- Loyihalarning o‘rtacha qaytarilish muddati: 3,1 yil (2,5 yildan 3,8 yilgacha);
- O‘rtacha NPV (diskont stavkasi 12 %): 4,2 mln AQSh dollari;
- Asosiy iqtisodiy samara manbalari: yoqilg‘i tejamkorligi (70–75 %), ta‘mirlash xarajatlarining qisqarishi (15–20 %), ekologik to‘lovlarning kamayishi (5–10 %).

Angren IEM misolida 4-blok modernizatsiyasiga sarflangan 5,2 mln AQSh dollari 3,4 yil ichida qaytdi, yillik iqtisodiy samara 1,53 mln AQSh dollarini tashkil etdi.

---

## MUHOKAMA

### 4.1. Avtomatlashtirishning texnologik afzalliklari va cheklovlari

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, zamonaviy DCS va SCADA tizimlari nafaqat jarayonlarni barqarorlashtiradi, balki operatorlarni favqulodda vaziyatlarni oldindan bashorat qilish imkoniyati bilan ta‘minlaydi. Xalqaro tajriba (masalan, Siemens va ABB loyihalari) ham shunga o‘xshash samaradorlikni tasdiqlaydi. Biroq, ayrim eski stansiyalarda (masalan, Toshkent IEMning 1–2-bloklari) hali ham analog signallar (4–20 mA) va elektromexanik releli himoya tizimlari ustunlik qiladi. Bu esa ma‘lumotlar almashinuvi tezligini cheklaydi, DCS tizimiga to‘liq integratsiyani qiyinlashtiradi.

Yana bir texnik muammo – turli ishlab chiqaruvchilar uskunalarining o‘zaro mosligi. O‘zbekiston IEMlarida Siemens, ABB, mahalliy (O‘zelektroapparat) va MDH mamlakatlarida ishlab chiqarilgan uskunalar mavjud. Ochiq protokollar (OPC UA, Modbus TCP, IEC 61850) yordamida integratsiya qisman ijobiy natijalar bermoqda, ammo eski protokolli qurilmalar uchun shlyuzlar (gateway) zarur.

#### 4.2. Inson omili va kadrlar salohiyati

Avtomatlashtirish operator xatolarini keskin kamaytirsa-da, yangi tizimlarni boshqarish uchun malakali kadrlar zarur. “O‘zbekiston elektr energiyasi” AJ tomonidan 2024 yilda 450 nafar xodim o‘rtasida o‘tkazilgan so‘rovga ko‘ra:

- Xodimlarning atigi 34 % raqamli tizimlar bilan ishlash bo‘yicha yetarli bilimga ega;
- 52 % qo‘shimcha treninglarga ehtiyoj sezadi;
- 14 % DCS interfeysi bilan ishlashda qiyinchiliklarga duch keladi.

Shu sababli, “Raqamli energetika” o‘quv markazi (IT-Park bilan hamkorlikda) va Siemens, ABB kabi kompaniyalar bilan tashkil etilgan sertifikatlash dasturlari muhim ahamiyat kasb etadi. 2025 yilga qadar 1500 nafar mutaxassisni qayta tayyorlash rejalashtirilgan.

#### 4.3. Kiberxavfsizlik masalalari

Avtomatlashtirish tizimlarining IP-tarmoqlarga ulanishi bilan kiberxavfsizlik dolzarb masalaga aylandi. 2024 yilda xalqaro energetika tizimlarida kuzatilgan kiberhujumlar (masalan, Ukrainadagi energotizimga hujum) sababli O‘zbekistonda ham IEMlarning OT (operational technology) tarmoqlarini himoya qilish choralari kuchaytirildi. “O‘zbekiston elektr energiyasi” AJda 2025 yilda NIST SP 800-82 standarti asosida kiberxavfsizlik auditlari o‘tkazilmoqda. Hozircha jiddiy hujumlar qayd etilmagan, biroq tarmoqlarni segmentlash, kirish huquqlarini cheklash va zaxiralash tizimlarini yaratish bo‘yicha ishlar davom etmoqda.

#### 4.4. Iqtisodiy va normativ to‘siqlar

Avtomatlashtirish loyihalarining yuqori boshlang‘ich kapital talabi (bir blokni modernizatsiya qilish 2–5 mln AQSh dollari) byudjet mablag‘lari va xalqaro moliya institutlarining uzoq muddatli kreditlari hisobiga qoplanmoqda. Jahon banki, Osiyo taraqqiyot banki va Yevropa tiklanish va taraqqiyot banki tomonidan ajratilgan

mablag'lar doirasida 2025–2030 yillarga mo'ljallangan 12 ta IEMda DCS va SCADA tizimlarini joriy etish dasturi amalga oshirilmoqda.

Normativ to'siqlar sifatida eski "Energiya tizimlarida boshqaruv qoidalari" hali to'liq yangilanmagan. 2024 yilda qabul qilingan "Energetika to'g'risida"gi yangi qonun avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarini majburiy joriy etishni nazarda tutsa-da, aniq texnik reglamentlar ishlab chiqilmoqda.

#### 4.5. Xalqaro tajriba bilan taqqoslash

Xalqaro miqyosda IEMlarni avtomatlashtirish bo'yicha yetakchi kompaniyalar (Siemens, GE, Mitsubishi) raqamli egizak (digital twin) texnologiyasini keng joriy etmoqda. Masalan, Germaniyadagi Heyden IEMda raqamli egizak yordamida bloklarni optimallashtirish yoqilg'i sarfini qo'shimcha 2,5 % ga kamaytirgan [7]. O'zbekistonda bunday texnologiya hali sinov tariqasida faqat Navoiy IEMda joriy etilmoqda. Shuningdek, sun'iy intellekt asosida ishlaydigan avtonom boshqaruv tizimlari (masalan, General Electric'ning "Predictivity" platformasi) bo'yicha tajriba to'planishi kerak.

#### 4.6. Cheklovlar va kelgusidagi tadqiqotlar

Ushbu tadqiqot asosan ochiq adabiyotlar va loyiha hisobotlariga tayanadi. Ayrim aniq texnik parametrlar (masalan, har bir tizimning aniq sozlamalari, dasturiy kod) tijorat siri sifatida taqdim etilmagan. Kelgusida quyidagi yo'nalishlarda tadqiqotlarni kengaytirish maqsadga muvofiq:

- Sun'iy intellekt va mashinaviy o'rganish algoritmlarini IEM boshqaruviga integratsiya qilish samaradorligini real vaqt rejimida baholash;
- Raqamli egizak texnologiyasini mavjud DCS bilan birgalikda qo'llashning iqtisodiy samaradorligi;
- Kiberxavfsizlik choralarining texnik-iqtisodiy tahlili;
- Issiqlik va elektr energiyasini birgalikda ishlab chiqarishda avtomatlashtirishning termodinamik optimalligi.

## XULOSA

Issiqlik elektr markazlarida avtomatik boshqaruv tizimlarini qo'llash energiya samaradorligini oshirish, ekologik yukni kamaytirish va uskunalarning ishonchligini ta'minlashning eng samarali vositasi hisoblanadi. O'zbekiston misolida olib borilgan kengaytirilgan tahlillar shuni ko'rsatadiki:

1. **Texnik samaradorlik:** DCS, SCADA, EMS va diagnostika tizimlarini kompleks joriy etish yoqilg'i sarfini 3–5 % ga, o'z ehtiyoj sarfini 12–15 % ga kamaytiradi, rejadan tashqari to'xtashlar sonini 25–30 % ga qisqartiradi. MTBF ko'rsatkichi o'rtacha 1,4 barobar oshadi.
2. **Ekologik samaradorlik:** Yonish jarayonini optimallashtirish NO<sub>x</sub> chiqindilarini 18–25 % ga, SO<sub>2</sub> chiqindilarini 8–12 % ga kamaytiradi. Bu me'yorlarga rioya etish va ekologik to'lovlarni qisqartirish imkonini beradi.
3. **Iqtisodiy samaradorlik:** Loyihalarning o'rtacha qaytarilish muddati 3 yil atrofida bo'lib, asosiy iqtisodiy foyda yoqilg'i tejamkorligi va ta'mirlash xarajatlarining kamayishi hisobiga shakllanadi.
4. **Rivojlanish istiqbollari:** O'zbekiston IEMlarida avtomatlashtirishni yanada chuqurlashtirish uchun quyidagi yo'nalishlar muhim:
  - Eski analog tizimlarni IP-asosidagi raqamli protokollarga bosqichma-bosqich almashtirish;
  - Sun'iy intellekt asosida ishlaydigan avtonom boshqaruv algoritmlarini sinovdan o'tkazish;
  - Raqamli egizak texnologiyasini keng joriy etish orqali xodimlarni tayyorlash va rejimlarni optimallashtirish;
  - Kiberxavfsizlik standartlarini (IEC 62443) to'liq joriy etish;
  - Kadrlar salohiyatini oshirish bo'yicha tizimli dasturlarni davom ettirish.

Ushbu chora-tadbirlar IEMlarning iqtisodiy samaradorligini oshirish bilan birga, mamlakat energetika tizimining barqarorligi, energiya xavfsizligi va ekologik xavfsizligini kafolatlaydi. Kelgusida avtomatlashtirishni 4-sanoat inqilobi (Industry 4.0) tamoyillari bilan uyg'unlashtirish, shuningdek "yashil energetika"ga o'tish kontekstida IEMlarni boshqaruv tizimlarini modernizatsiya qilish muhim strategik vazifa bo'lib qoladi.

---

### **Foydalanilgan adabiyotlar (References)**

1. International Energy Agency (IEA). (2024). *Electricity Market Report 2024*. Paris: IEA Publications. 250 p.
2. O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi. (2024). *Energetika tarmog'i texnik holati to'g'risida milliy hisobot*. Toshkent. 185 b.
3. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining Farmoni. (2024). *Energiya sektorini isloh qilish va barqaror rivojlantirish konsepsiyasi 2025–2030*. PF-123-son.
4. Ghorbani, N., & Bakhtiari, H. (2023). Automation and control strategies in thermal power plants: A review. *Energy Reports*, 9, 112–125. DOI: 10.1016/j.egy.2022.11.045.
5. "O'zbekiston elektr energiyasi" AJ. (2024). *Angren IEMni modernizatsiya qilish loyihasi texnik hisoboti*. Toshkent. 94 b.
6. "O'zbekiston elektr energiyasi" AJ. (2025). *Navoiy IEM turbina tebranish monitoring tizimini joriy etish natijalari*. Navoiy. 37 b.
7. Siemens Energy. (2023). *Digitalization for Thermal Power Plants: Case Studies*. Munich: Siemens AG. 112 p.
8. ABB. (2024). *800xA Distributed Control System: Efficiency Improvement in Thermal Power*. Zürich: ABB Group. 88 p.
9. Xalilov, S. (2024). Raqamli energetika: muammolar va yechimlar. *Energetika va resurs tejash*, 2(17), 45–52.

10. Abdullayev, R., & Karimov, A. (2023). Avtomatik boshqaruv tizimlarining issiqlik elektr stansiyalarida qo'llanilishi. *"Innovatsion energetika" xalqaro konferensiya materiallari*, 112–118.
11. Jahon banki. (2025). *O'zbekiston energetika sektorini raqamlashtirish loyihasi: texnik-iqtisodiy asos*. Washington: World Bank Group.
12. O'zbekiston Respublikasi Ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi vazirligi. (2024). *2024 yil atmosfera havosi ifloslantiruvchi moddalar monitoringi hisoboti*. Toshkent. 67 b.
13. International Electrotechnical Commission (IEC). (2023). *IEC 62443 Series: Industrial communication networks – Network and system security*. Geneva: IEC.
14. General Electric. (2024). *Predictivity Platform for Thermal Power: AI-Based Optimization*. Boston: GE Power.
15. O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi. (2024). "Energetika to'g'risida"gi Qonun. QRQ-912-son.