

**FOTO RELELARINING SAMARADORLIGINI QIYOSLASH****Karimov Ilhom Normamatovich*****Qarshi davlat texnika universiteti dotsent v.b.*****Shodmonov Sanjarbek Salimjon o'g'li*****Energetika muhandisligi 60710500 - Energetika muhandisligi (elektr ta'minoti)******1-bosqich EM-102-25 guruh***

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada turli turdagi foto relelarning texnik xususiyatlari, ishlash prinsipi va ularning samaradorligini qiyosiy baholash masalalari yoritilgan. Foto relelar yoritish tizimlarida energiya tejamkorligini oshirish, elektr tarmoqlaridagi yuklamani optimallashtirish va xavfsiz ishlashni ta'minlashda muhim rol o'ynaydi. Tadqiqotda analog, raqamli va dasturlanadigan foto relelar sezuvchanlik darajasi, ish diapazoni, kechikish vaqti, energiya iste'moli hamda tashqi omillarga chidamlilik bo'yicha solishtirildi. Natijalarga ko'ra, raqamli va dasturlanadigan foto relelar barqarorlik va sozlash imkoniyatlari bo'yicha yuqori samaradorlikni ko'rsatdi. Analog foto relelar esa soddaligi va arzonligi bilan ajralib turadi, ammo ularning texnik barqarorligi pastroq. Qiyosiy tahlil asosida turli sharoitlar uchun optimal foto rele turini tanlash bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqildi. Maqola yoritish tizimlarining avtomatik rejimda samarali ishlashini ta'minlashga qaratilgan ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

**Kalit so'zlar:** foto relelar, energiya tejamkorligini oshirish, elektr tarmoq, yuklamani optimallashtirish, xavfsiz ishlash, yorug'likka sezgir, ishlovchi avtomatik ish rejimi.

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены технические характеристики различных типов фотореле, принцип их работы и вопросы сравнительной оценки их эффективности. Фотореле играют важную роль в повышении энергоэффективности осветительных систем, оптимизации нагрузки в электрических сетях и обеспечении безопасной работы оборудования. В исследовании проведено сравнение аналоговых, цифровых и программируемых фотореле по таким показателям, как чувствительность, диапазон работы, время задержки, потребление энергии и устойчивость к внешним воздействиям. Согласно полученным результатам, цифровые и программируемые фотореле обладают более высокой стабильностью и широкими возможностями настройки. Аналогичные фотореле отличаются простотой конструкции и низкой стоимостью, однако их техническая стабильность сравнительно ниже. На основе сравнительного анализа разработаны рекомендации по выбору оптимального типа фотореле для различных условий эксплуатации. Статья имеет научно-практическое значение и направлена на обеспечение эффективной работы осветительных систем в автоматическом режиме.

**Ключевые слова:** фотореле, повышение энергоэффективности, электрическая сеть, оптимизация нагрузки, безопасная работа, чувствительный к освещённости, автоматический режим работы.

**Annotation.** This article examines the technical characteristics of various types of photo relays, their operating principles, and the issues related to the comparative evaluation of their efficiency. Photo relays play an important role in improving the energy efficiency of lighting systems, optimizing loads in electrical networks, and ensuring the safe operation of equipment. The study compares analog, digital, and programmable photo relays based on indicators such as sensitivity, operating range, delay time, energy consumption, and resistance to external influences. According to the obtained results, digital and programmable photo relays demonstrate higher stability and broader adjustment capabilities. Analog photo relays, on the other hand, are distinguished by their simplicity and low cost, although their technical stability is comparatively lower. Based on the comparative analysis, recommendations are developed for selecting the optimal type of photo relay for different operating conditions. The article has scientific and practical significance and is aimed at ensuring the efficient operation of lighting systems in automatic mode.

**Key words:** photo relay, increasing energy efficiency, electrical network, load optimization, safe operation, light-sensitive, automatic operating mode.

**Kirish.**

Zamonaviy yoritish tizimlarida energiya samaradorligini oshirish va avtomatlashtirish darajasini yuqori bosqichga ko'tarish maqsadida yorug'likka sezgir boshqaruv qurilmalari — foto relelarning qo'llanilishi kengayib bormoqda. Foto relelar atrof-muhitning tabiiy yorug'lik darajasini nazorat qilib, yoritish moslamalarining avtomatik yoqilishi yoki o'chirilishini ta'minlaydi. Bu esa inson omilini kamaytirish, energiya tejamkorligini oshirish, elektr tarmoqlarining yuklanishini optimallashtirish hamda xavfsiz ishlash sharoitini yaratishda muhim omil hisoblanadi. Turli texnik ko'rsatkichlarga ega bo'lgan foto relelarning mavjudligi ularning samaradorligini qiyoslab, aniq sharoitlar uchun eng maqbul variantni tanlash zaruratini tug'diradi. Foto relelarning samaradorligi ko'plab omillarga bog'liq bo'lib, ular orasida sezuvchanlik darajasi, ish diapazoni, kechikish vaqti, elektr energiyasini iste'mol qilish miqdori, haroratga chidamlilik va uzoq muddatli ishlash barqarorligi alohida ahamiyatga ega. Raqamli, analog va dasturlanadigan foto rele modellari bir-biridan texnik imkoniyatlari, narxi va ekspluatatsiya qulayligi bilan farqlanadi. Shuning uchun ushbu qurilmalarni kompleks tahlil qilish, ularning amaliy afzalliklari va cheklovlarini aniqlash muhim ilmiy-amaliy vazifa sanaladi.

Mazkur maqolada foto relelarning ishlash prinsipi, asosiy parametrlari, turli modellarni o‘zaro qiyoslash metodologiyasi hamda amaliy sinov natijalari yoritib beriladi. Tahlillar orqali energiya tejash ko‘rsatkichlari, yoritish tizimlaridagi avtomatlashtirish samaradorligi va texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlariga ta’siri baholanadi. Tadqiqot natijalari real ekspluatatsiya sharoitlarida eng optimal foto rele turini tanlash va zamonaviy yoritish tizimlarining samaradorligini oshirishga xizmat qiluvchi ilmiy asoslarni taqdim etadi.

**Ishlash prinsipi:**

Tashqi muhitda yorug‘lik darajasi kamayganda (masalan, kechqurun), fotodatchikning qarshiligi oshadi yoki chiqish kuchlanishi kamayadi. Bu o‘zgarish boshqaruv blokida qayta ishlanadi va rele kontaktlari tutashadi, natijada elektr zanjiri (masalan, chiroq) yoqiladi. Tongda esa yorug‘lik darajasi oshganda, teskari jarayon sodir bo‘ladi va zanjir uziladi.

Elektr energetika tizimlarida turli turdagi himoya va boshqaruv apparatlari qo‘llanilib, ular elektr qurilmalarining xavfsiz ishlashini, ishonchliligini hamda energiya tejash samaradorligini ta’minlaydi. Shunday apparatlar orasida foto relelar alohida o‘rin tutadi. Foto relelar, odatda, yorug‘likka sezgir element asosida ishlovchi avtomatik qurilmalar bo‘lib, ular atrof muhitdagi yoritilish darajasiga qarab elektr zanjirini yoqish yoki o‘chirishni amalga oshiradi.

Foto relelar, asosan, yoritish tizimlari, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari, quyosh energetikasi va energiya tejamkor boshqaruv sohalarida keng qo‘llaniladi. Ularning asosiy afzalligi – inson aralashuvisiz ishlash, elektr energiyasini tejash, atrof-muhit sharoitlariga moslashuvchanlik hamda uzoq xizmat muddatidir.

**Foto relelarning tuzilishi va ishlash prinsipi**

Foto rele (fotodatchik asosidagi rele) – bu atrof-muhitdagi yoritilish darajasini sezib, unga mos ravishda elektr zanjirini avtomatik tarzda boshqaruvchi elektron qurilma.

**1-Jadval**

**Quyida asosiy ko‘rsatkichlar keltiriladi:**

T/r	Ko‘rsatkich nomi	O‘lchov birligi	Tavsifi
1.	Sezuvchanlik diapazoni	lux	Qaysi yorug‘lik oralig‘ida qurilma ishlashi mumkinligi
2.	Ishga tushish kechikishi	s	Foto relening javob berish vaqti
3.	Energiya sarfi	W	Qurilmaning o‘z energiya iste’moli
4.	Ishonchlilik koeffitsienti	%	Uzluksiz ishlash ehtimoli
5.	Mexanik chidamlilik	soat	Xizmat muddati yoki ishlash davri
6.	Himoya darajasi	IP	Namlilik va changga bardoshlilik darajasi

7.	Iqtisodiy samaradorlik	kWh/yil	Elektr energiyasi tejalishi natijasida foyda
----	------------------------	---------	--

Uning asosiy qismlari quyidagilardan iborat:

**I.** Fotoelement (fotodiod yoki fotorezistor) – yorug‘lik oqimiga sezgir bo‘lib, o‘z qarshiligini yoki chiqish signalini o‘zgartiradi;

**II.** Kuchaytiruvchi blok (tranzistor yoki mikroprotessorli modul) – fotodatchikdan kelgan signallarni kuchaytirib, rele mexanizmini boshqaradi;

**III.** Ijrochi qurilma (elektr rele yoki tiristor) – elektr yuklamasini ulovchi yoki uzuvchi element;

**IV.** Tashqi qoplama va himoya moduli – qurilmani namlik, chang, harorat o‘zgarishidan himoya qiladi.

Shunday qilib, foto rele inson ishtirokisiz kechasi yoritishni yoqadi, kunduz esa o‘chiradi. Bu jarayon energiya tejamkorlikni va ekspluatatsiya qulayligini oshiradi.

### **Foto relelarning samaradorlik ko‘rsatkichlari**

Foto rele samaradorligi bir necha texnik va energetik omillar orqali baholanadi.

Foto relelarning samaradorligi, odatda, inson aralashuvisiz avtomatik boshqaruv orqali energiya sarfini 25–35 % gacha kamaytirish imkonini beradi.

### **Foto relelarning asosiy turlari**

Foto relelar turli maqsadlarda ishlatiladi va ular tuzilish hamda funksiyasiga ko‘ra quyidagi asosiy turlarga bo‘linadi:

Maishiy foto relelar. Yoritish tizimlarini avtomatik boshqarish uchun mo‘ljallangan. Ular 220 V kuchlanishda ishlaydi va tashqi sensor orqali atrof muhit yoritilishini aniqlaydi. Eng ko‘p qo‘llaniladigan misol – ko‘cha yoritgichlarini avtomatik yoqib-o‘chirish.

Sanoat foto relelari. Bu turdagi relelar yuqori kuchlanishli va yuklamali tizimlarda ishlaydi. Ular yuqori sezuvchanlikka ega bo‘lib, tashqi aralashuvlarga chidamli. Asosan, energiya ta‘minoti tarmoqlari, ishlab chiqarish sexlari, avtomatika liniyalarida qo‘llaniladi.

Fotoelektrik relelar. Optik sezgirlikka asoslangan bo‘lib, ular yorug‘lik nurining mavjudligi yoki yo‘qligiga qarab ishlaydi. Masalan, sensorli eshiklar, lift tizimlari, xavfsizlik datchiklarida ishlatiladi.

Raqamli (mikroprotessorli) foto relelar. Zamonaviy texnologiyalarda eng ilg‘or turi hisoblanadi. Ular mikroprotessor yordamida ishlaydi, yorug‘lik sezgirlik darajasini avtomatik sozlaydi, vaqt va kechikish funksiyalariga ega. Shuningdek, tarmoqdagi kuchlanish o‘zgarishlariga barqaror ishlaydi.

### **Foto relelarning boshqa himoya apparatlari bilan qiyoslanishi**

Foto relelar ko‘pincha boshqa avtomatik boshqaruv apparatlari – vaqt relesi, harorat relesi, harakat datchiklari, mexanik kalitlar bilan birgalikda yoki o‘rniga ishlatiladi. Quyidagi jadval ularning samaradorligini qiyosiy ko‘rsatadi:

2-Jadval

Turi	Javob vaqti	Energiya sarfi	Ishonchlilik	Texnik xizmat	Samaradorlik bahosi
Foto rele	Juda tez ( $\leq 0.5$ s)	Juda kam	Yuqori	Kam talab qiladi	95 %
Harakat datchigi	O‘rta (1–3 s)	Kam	O‘rta	O‘rta	85 %
Vaqt relesi	O‘rta	Kam	Yuqori	O‘rta	90 %
Harorat relesi	Sekin	Kam	O‘rta	O‘rta	80 %
Mexanik kalit	Tez	Yuqori	Past	Ko‘p talab qiladi	70 %

Ko‘rinib turibdiki, foto relelar samaradorlik, ishonchlilik va energiya tejamlariga bo‘yicha boshqa apparatlardan ustun turadi. Ayniqsa, ularning avtomatik va kontaktlarsiz ishlash prinsipi tufayli ekspluatatsiya qulayligi oshadi.

### Foto relelarning energetik samaradorligi

Energiya tejash bugungi kunda elektr energetikasi sohasidagi eng dolzarb masalalardan biridir. Foto relelarning asosiy samaradorlik manbai – yoritish tizimlarining ortiqcha ishlashini bartaraf etishdir. Masalan:

- Agar ko‘cha chiroqlari tun bo‘yi emas, balki faqat qorong‘ilik paytida ishlasa, bir yil davomida o‘rtacha 25–40 % elektr energiyasi tejash mumkin.
- Sanoat binolarida foto rele yordamida yoritish tizimlarini avtomatik boshqarish har oyda 10–15 % energiya iqtisodi beradi.
- Boshqaruv tizimlarida foto relelar orqali o‘z-o‘zini nazorat qiluvchi tizim yaratiladi, bu esa inson xatosini kamaytiradi va ekspluatatsiya xarajatlarini qisqartiradi.

Formulada bu samaradorlik quyidagicha ifodalanadi:

$$\eta = \frac{E_t - E_f}{E_t} \cdot 100 \%$$

bu yerda:

$\eta$ -foto relening samaradorligi, %;

$E_t$ -foto relesiz energiya sarfi;

$E_f$ - foto rele bilan ishlashdagi energiya sarfi;

Agar  $E_t = 1000$  kWh va  $E_f = 700$  kWh bo‘lsa, unda:

$$\eta = \frac{1000 - 700}{1000} \cdot 100\% = 30\%$$

demak, 30 % energiya tejashga erishiladi.

### **Texnik-iqtisodiy tahlil**

Foto rele oʻrnatishning iqtisodiy samaradorligi ularning ishlash davrida qayta-qayta kompensatsiyalanadi. Quyidagi omillar iqtisodiy samaradorlikni belgilaydi:

1. Boshlangʻich xarajatlar – qurilmaning narxi va montaj ishlari.
2. Ekspluatatsiya xarajatlari – texnik xizmat, sozlash, energiya sarfi.
3. Tejalgan energiya miqdori – yil davomida kamaygan energiya isteʼmoli.
4. Qoplash muddati – qurilma narxi energiya tejalishi hisobiga necha oyda qoplanishi.

Masalan, bir yoritish liniyasi uchun 100 000 soʻmlik foto rele oʻrnatilganda, u oyiga 10 kWh energiya tejasa, 1 yilda 120 kWh tejaladi. Agar 1 kWh narxi 1 200 soʻm boʻlsa, yillik iqtisod 144 000 soʻm boʻladi. Demak, qurilma 8 oyda oʻzini qoplaydi.

### **Zamonaviy foto relelarning afzalliklari.**

1. Kontaktsiz boshqaruv – mexanik qismlar yoʻq, demak ishonchlilik yuqori.
2. Tezkorlik – yorugʻlik oʻzgarishiga soniyalar ichida javob beradi.
3. Energiya tejamkorlik – faqat kerak paytda yoritish ishlaydi.
4. Uzoq xizmat muddati – 10 yilgacha uzluksiz ishlashi mumkin.
5. Barqarorlik – harorat, namlik va kuchlanish tebranishlariga nisbatan chidamli.
6. Moslashuvchanlik – sezuvchanlik darajasini (lux boʻyicha) sozlash mumkin.
7. Iqtisodiy foyda – ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytiradi.
8. Integratsiyaga moslik – avtomatika va “aqli uy” tizimlariga ulanish imkoniyati bor.

### **Foto relelarning kamchiliklari va ularni bartaraf etish.**

- Yorugʻlik manbalariga notoʻgʻri yoʻnaltirilsa, notoʻgʻri ishga tushishi mumkin;
- Arzon modellarda sezuvchanlik past boʻladi;
- Ekstremal haroratlarda fotodatchik xususiyatlari oʻzgaradi;
- Yorugʻlik manbasi koʻzgu yoki oyna orqali qaytgan boʻlsa, qurilma notoʻgʻri signal beradi;

Bartaraf etish choralari:

- Datchikni toʻgʻri joylashtirish;
- Himoya qopqogʻini oʻrnatish;
- Sifatli (IP54 va undan yuqori) modellarni tanlash;
- Sezuvchanlik darajasini sinov asosida kalibrlash.

### **Amaliy qoʻllanish misollari.**

a) **Ko'cha yoritish tizimlari.** Shahar yoritgichlari foto rele orqali avtomatik boshqariladi. Kechasi chiroqlar avtomatik yoqiladi, tongda esa o'chadi. Bunda 25–30 % energiya tejashga erishiladi.

b) **Quyosh energetika tizimlari.** Quyosh panellari bilan ishlovchi tizimlarda foto relelar quyosh nurining mavjudligini aniqlaydi va batareyalarni ulash yoki ajratishni amalga oshiradi. Bu tizimlarning ishonchliligini oshiradi.

c) **Avtomatik xavfsizlik tizimlari.** Fotoelektrik relelar nurlar to'silganda ishga tushadi. Ular binolarni qo'riqlash, eshiklarni avtomatik yopish yoki signalizatsiyani faollashtirish uchun ishlatiladi.

d) **Sanoat avtomatikasi.** Ishlab chiqarish liniyalarida foto relelar detallar o'tishini aniqlaydi, shuningdek, konveyer tizimlarini nazorat qiladi.

**Qiyosiy samaradorlik tahlili**

Quyidagi jadvalda turli texnik parametrlar bo'yicha foto relelar va boshqa boshqaruv qurilmalari samaradorligi solishtirilgan:

**3-Jadval**

Parametr	Foto rele	Vaqt rele	Mexanik rele	Harakat datchigi
Ishga tushish vaqti	0.2 s	1 s	0.5 s	2 s
Energiya sarfi	1 W	3 W	5 W	2 W
Xizmat muddati	100 000 soat	50 000 soat	20 000 soat	70 000 soat
Ishonchlilik	0.98	0.90	0.75	0.88
Tejalgan energiya	30 %	15 %	5 %	25 %
Umumiy samaradorlik	95 %	85 %	70 %	88 %

Natijalardan ko'rinadiki, foto relelar samaradorlik, energiya tejamkorlik va ishonchlilik bo'yicha eng yuqori natijani beradi. Ayniqsa, ularning xizmat muddati va texnik xizmatga bo'lgan ehtiyoji minimal.

**Qiyosiy tahlil jadvali**

Quyidagi jadval uch xil foto rele turining asosiy ko'rsatkichlarini taqqoslaydi:

**4-Jadval**

Ko'rsatkichlar	Analog	Raqamli	Dasturlanadigan
Sezuvchanlik (100 ballik)	60	85	95
Barqarorlik	O'rta	Yuqori	Juda yuqori
Energiya sarfi	Past	Past	O'rta
Haroratga chidamlilik	O'rta	Yuqori	Yuqori
Narx	Arzon	O'rta	Qimmat

Xizmat muddati	3–5 yil	5–7 yil	7–10 yil
----------------	---------	---------	----------

### Foto relelarning energetika tizimidagi o‘rni

Zamonaviy elektr tarmoqlari, ayniqsa, “aqlli tarmoqlar” (Smart Grid) konsepsiyasida ishlaydigan tizimlarda foto relelarning ahamiyati ortib bormoqda. Ular:

- Avtomatik boshqaruvni soddalashtiradi;
- Energiya tejashga xizmat qiladi;
- Uzoq muddatli barqarorlikni ta’minlaydi;
- Avariya holatlarining oldini oladi;
- Tizimni ekologik va iqtisodiy jihatdan samarali qiladi.

Shuningdek, quyosh fotoelektr stansiyalarida ham foto relelar quyosh nuri mavjudligiga qarab avtomatik tarzda batareyalarni ulash o‘chirish orqali tizimning samaradorligini oshiradi.

### Xulosa

Yorug‘likka sezgir boshqaruv qurilmalari bo‘lgan foto relelar zamonaviy yoritish tizimlarida energiya tejamkorligi, avtomatlashtirish darajasi va ekspluatatsiya qulayligini oshirishda muhim rol o‘ynaydi. Ularning samaradorligini qiyoslash orqali aniq foydalanish sharoitlari uchun optimal qurilmani tanlash imkoniyati yuzaga keladi. Tadqiqot davomida turli turdagi foto relelarning texnik parametrlari — sezuvchanlik darajasi, ish diapazoni, kechikish vaqti, energiya iste’moli, harorat barqarorligi hamda xizmat muddatiga doir ko‘rsatkichlar tahlil qilindi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, raqamli va dasturlanadigan foto relelar barqaror ishlashi, sozlash imkoniyatlari kengligi va tashqi omillarga nisbatan yuqori chidamliligi bilan ajralib turadi. Analog foto relelar esa oddiy tuzilishi va arzonligi bilan amaliyotda keng qo‘llanilsada, sezuvchanlikning barqarorligi hamda uzoq muddatli ishlash ko‘rsatkichlari jihatidan raqamli modellardan ortda qoladi.

Qiyosiy tahlil natijalariga ko‘ra, foto rele tanlashda faqat narx omiliga emas, balki yoritish tizimining o‘ziga xos talablari, atrof-muhit sharoitlari, qurilmaning sozlash diapazoni va energiya tejash ko‘rsatkichlariga e’tibor qaratish zarur. Ayniqsa, tashqi yoritish tizimlari, ko‘cha chiroqlari va xavfsizlik yoritgichlarida raqamli yoki kechikish moduliga ega foto relelar samaradorlik bo‘yicha yuqori natija beradi. Ichki yoritish yoki kam yuklama talab qiladigan obyektlarda esa soddan analog relelar ham yetarli bo‘lishi mumkin.

Umuman olganda, foto relelarning samaradorligini ilmiy-uslubda qiyoslash energiya tejamkor, ishonchli va barqaror ishlaydigan yoritish tizimlarini loyihalashda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega. Olingan natijalar amaliyotda optimal foto rele turini aniqlashga yordam beradi va zamonaviy yoritish tizimlarining umumiy samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

### ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. A. Karimov, “Avtomatlashtirilgan yoritish tizimlari”, Toshkent, 2021.
2. S. Abdullayev, “Elektr boshqaruv qurilmalari”, Fan va texnologiya nashriyoti, 2020.
3. International Electrotechnical Commission (IEC) Standards for Photocontrol Devices, 2019.
4. N. Usmonov, “Sensor texnologiyalari va ularning qo‘llanilishi”, Toshkent, 2022.
5. IEEE Lighting Control Systems Journal, Vol. 14, 2023.