



TAQSIMLOVCHI TARMOQLARDA YUQORI GARMONIKALARNING ELEKTR ENERGIYASI SIFAT KO'RSATKICHLARIGA TA'SIRINI BAHOLASH

Tovboyev A.N.^[0000-0003-2677-6977]

Doctor of technical science (DSc), Navoi state university of mining and technologies

Annotatsiya. Ushbu maqolada elektr energiyasi sifatining yomonlashuvining asosiy sabablari, yirik quvvatli metallurgiya korxonalari va taqsimlovchi elektr ta'minoti tizimlarining chiziqli bo'lmagan va o'zgaruvchan yuklamalari holatlari baholandi. Statik quvvat o'zgartirgichlari, chastota bilan boshqariladigan elektr yuritmalarning keng joriy etilishi, energiyani tejaydigan yoritish tizimlari ko'plab iste'molchilarning elektr yuklamalari tabiatining sezilarli o'zgarishiga olib kelishi hozirgi davr energetika tizimi uchun ahamiyatli ekanligini inobatga olib, garmonikalar ta'siri elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlariga ta'siri ko'rib chiqildi. Shuningdek, so'nggi yillarda aksariyat sanoat korxonalarining elektr ta'minoti tarmoqlarida elektr energiyasining sifati sezilarli darajada yomonlashayotganligi hamda taqsimlovchi elektr tarmoqlarida va kichik kuchlanishli elektr energiyasi iste'molchilarida bu holat kuzatilayotganini mazkur tadqiqotda ko'rsatib o'tildi.

Kalit so'zlar: Tok va kuchlanishlarning yuqori garmonikasini, garmonik buzilishlar reaktiv quvvat kompensatsiyasi, filtr kompensatsiya qiluvchi qurilmalar, chiziqli bo'lmagan yuklama.

Аннотация. В данной статье рассмотрены основные причины ухудшения качества электрической энергии, а также проанализированы состояния нелинейных и переменных нагрузок мощных металлургических предприятий и систем распределительного электроснабжения. Однако, с учётом того, что широкое внедрение статических преобразователей мощности, частотно-регулируемых электроприводов и энергосберегающих осветительных систем привело к существенному изменению характера электрических нагрузок многих потребителей, в работе рассмотрено влияние гармонических искажений на показатели качества электрической энергии. Кроме того, показано, что в последние годы качество электроэнергии в электрических сетях большинства промышленных предприятий значительно ухудшилось, и данная тенденция наблюдается также в распределительных сетях и у потребителей низкого напряжения.

Ключевые слова: Высшие гармоники тока и напряжения, гармонические искажения, компенсация реактивной мощности, фильтрующе-компенсирующие устройства, нелинейная нагрузка.

Annotation. This paper examines the main causes of electric power quality degradation and analyzes the behavior of nonlinear and variable loads in large metallurgical enterprises and distribution power supply systems. Considering that the widespread use of static power converters, frequency-controlled electric drives, and energy-saving lighting systems has led to a significant change in the nature of electrical loads among many consumers, the study focuses on the impact of harmonic distortions on the quality indicators of electric power. Furthermore, it is shown that in recent years the quality of electric power in the supply networks of most industrial enterprises has significantly deteriorated, and this issue is also observed in distribution networks and low-voltage consumers.

Key words: Current and voltage higher harmonics, harmonic distortions, reactive power compensation, filter-compensating devices, nonlinear load.

Kirish

Elektr energiyasi sifati yomonlashuvining asosiy manbalari tarqatish va taqsimlash tarmoqlaridir. Chiziqli bo'lmagan yuklamalar, shaxsiy kompyuterlar va ofis uskunolari, energiya tejaydigan yorug'lik manbalari bilan yoritish tizimlari, rostlanadigan aylanish tezligiga ega bo'lgan elektr yuritmalari va boshqalar toklar va kuchlanishlarning sinusoidal shaklining buzilishiga va quvvat shaklini kamaytirishga olib keladi. Taqsimlovchi zaxira qurilmalari, elektr ta'minoti tizimlari, elektr energiyasining sifatiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi [1]. Elektr mashinalari, transformatorlar va tarmoqlarda yo'qotishlar ko'paymoqda. Yuqori tartibli garmonik komponentlar transformator chulg'amlarning qo'shimcha qizishi va yo'qotishlarning ko'payishiga olib keladi. Izolyatsiyaning tez eskirishi va natijada elektr



jihozlarining ishlash muddatini qisqartirish, kabel tarmoqlarida avariylar sonining ko'payishi kabi misollarni keltirish mumkin. Kompensatsion qurilmalarning o'rnatilishi tarmoq induktivligi va kompensatsion kondensatorlar yoki filtr kompensatsiya o'rtasida parallel rezonans xavfini yaratadi. Rezonansli rejimlar kondensatorlar orqali toklarning sezilarli darajada oshishiga va chiqish tomonlarining ishdan chiqishiga olib keladi. Kapital qo'yilmalar va operatsion xarajatlarning ko'payishi, uskunani muddatidan oldin almashtirish va elektr energiyasi sifatini yaxshilash bo'yicha tashkiliy-texnik tadbirlarni amalga oshirish zarurati tufayli yuzaga keladi. Yuqori chastotali elektromagnit mikroprotessor rele himoyasi va avtomatlashtirish tizimlariga o'ziga xos ta'sir ko'rsatadi. Yuqori darajadagi garmonikalar ularning ishlashini buzilishiga olib kelishi va rele ximoyasi va avtomatika elementlarining yolg'on ishlashini yuzaga ketirish mumkin. O'lchov asboblari va elektr o'lchash moslamalari noto'g'ri ishlashi mumkin. Sinusoidal bo'lmagan rejimlarda induksion hisoblagichlarning xatolari 10% ga yetishi mumkin. Kuchlanish pasayishi va ko'tarilishi, toklar va kuchlanishlarning sinusoidal bo'lmagan shakli sezgir elektron uskunalarining noto'g'ri ishlashiga olib kelishi mumkin [2,3].

Asosiy qism

Mazkur maqolada elektr energiyasi sifatining bir qator masalalari ko'rib chiqildi. Past chastotali kuchlanish tebranishlari yorug'lik manbalarining yorug'lik tokining davriy o'zgarishiga (miltillashiga) olib keladi. Bu "miltillovchi" deb nomlangan hodisa bo'lib, bu inson ko'rish qobiliyatiga ta'sir qiladi va fiziologik charchoqni keltirib chiqaradi. Elektr energiyasi sifati muammosini hal qilish uchun kompleks yondashuv zarur. Ishlab chiqarish bosqichlarida elektr energiyasining sifatini ta'minlash choralari ko'rish kerak, ya'ni elektr energiyasini uzatish, taqsimlash va iste'mol qilish jarayonlarida. Elektr energiyasi sifatini saqlash uchun elektr energiyasi iste'molchilari, tarmoq kompaniyalari va elektr uskunalar ishlab chiqaruvchilari o'rtasidagi holatlar ko'rib chiqildi [4-6]. Taqsimlovchi tarmoqlarda elektr energiyasining sifatini aniqlovchi eng muhim parametrlaridan biri bu toklar va kuchlanishlarning sinusoidal shaklining buzilishidir. O'zgaruvchan elektr zanjirlari (toklar, kuchlanishlar, kommutatsiya qilinadigan elementlarni boshqarish qonunlari) bulib, vaqtning davriy funksiyalari hisoblanadi. Ular Furiye qatori orqali ifodalanishi mumkin

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(n\omega_1 t + \varphi_n) \quad (1)$$

A_n -kompleks amplitudaning n – garmonikasi

$$A_n(t) = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) e^{-jn\omega_1 t} dt \quad (2)$$

Asosiy garmonik tarkibining burchak chastotasi

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T} \quad (3)$$

Juft garmoniklar shuningdek, bir yarim davrli to'g'irlovchi vositalar va yoy pechlari bo'lgan tarmoqlarda ham paydo bo'lishi mumkin. Ko'p hollarda, garmoniklarning amplitudalari tartib oshgani sari kamayadi. Yuqori tartibdagi garmonik tarkiblar ($n=25-50$) 10–0,4 kV kuchlanishli tarmoqlarda odatda ahamiyatsiz bo'lib, tarmoq ishiga jiddiy ta'sir ko'rsatmaydi.

Tok uchun garmonik tarkiblarining umumiy koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi.

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{(n^2)}}}{U_1} \cdot 100\% \quad (4)$$



Kuchlanish va toklarning garmonik tarkibini hisoblashda, garmonik tarkiblarning chastotasini Hz emas, balki uning tartibini-asosiy garmonik chastotaga nisbatan karralikni hisobga olish qulayroqdir.

$$K_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} I_{(n^2)}}}{I_1} \cdot 100\% \quad (5)$$

Chastota bilan boshqariladigan yuritma-bu chastota o'zgartirgich, keng-impulsi modulyatsiya va asinxron dvigatelni o'z ichiga olgan elektromexanik kompleksdir. Bunday komplekslarni qo'llash ish rejimiga qarab iste'mol qilingan elektr energiyasini 10–25% ga qisqartirishni ta'minlaydi. Boshqariladigan elektr yuritmalari tizimlarining quvvat manbai sifatida ko'pincha ko'p fazali o'zgartirgichlar ishlatiladi, ular doimiy kuchlanish tomonida katta induktivlikka ega. Ko'p fazali o'zgartirgichlarning xususiyati shundaki, ular uchga karrali bo'lgan garmonik tarkiblarni hosil qilmaydi. Biroq, bunday o'zgartirgichlar yuqori chastotali garmonikalar manbai hisoblanadi va uning qiymatlari quyidagi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

n	5	7	11	13	17	19	23	25
6	0.175	0.11	0.045	0.029	0.015	0.01	0.009	0.008
12	0.021	0.014	0.075	0.059	0.011	0.009	0.015	0.011

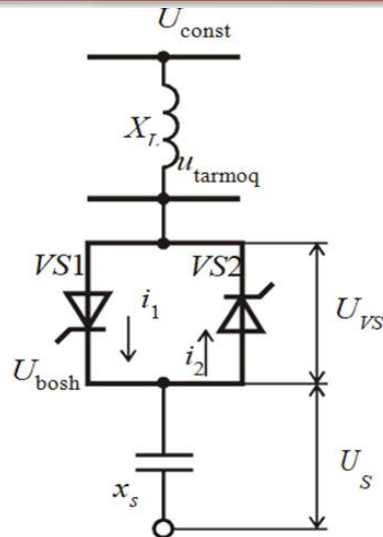
Kontakt tarmog'idan to'g'rilovchi orqali iste'mol qilingan tokning egri chizig'i nosinusoidaldir. Yuqoridagi o'lchovlar natijalari shuni ko'rsatadiki, toklarning spektrlarida 3,5 va 7-garmonik komponentalari ustunlik qiladi. Nosinusoidal toklar va kuchlanishlarning spektrlari ko'plab omillarga bog'liq. Taqsimlovchi tarmoqlarda yuklamalar oshgani sayin, tokning garmonik buzilishlari oshadi. Tokning buzilishi katta darajada kuchlanish egri chizig'ining buzilishiga olib keladi. Maxsus kuchlanish buzilishlari, elektr taqsimlovchi uzatish stansiyasidan katta masofada joylashgan nimstansiyalarda sezilarli ravishda kuzatiladi. Nol ketma-ketlikdagi simmetriya koeffitsiyentining qiymati sonining o'rtacha natijasi sifatida hisoblanadi va 3 s vaqt oralig'ida bo'lishi kerak ekanligi 6-ifodadan aniqlaymiz.

$$K_{OU} = \frac{\sqrt{\sum_i^N i^2}}{N} \cdot K_2 \quad (6)$$

Nol ketma-ketlikdagi kuchlanish nosimmetriyasi koeffitsiyentining qiymati har bir i-kuzatuvda foiz sifatida 7-ifodadan aniqlanadi:

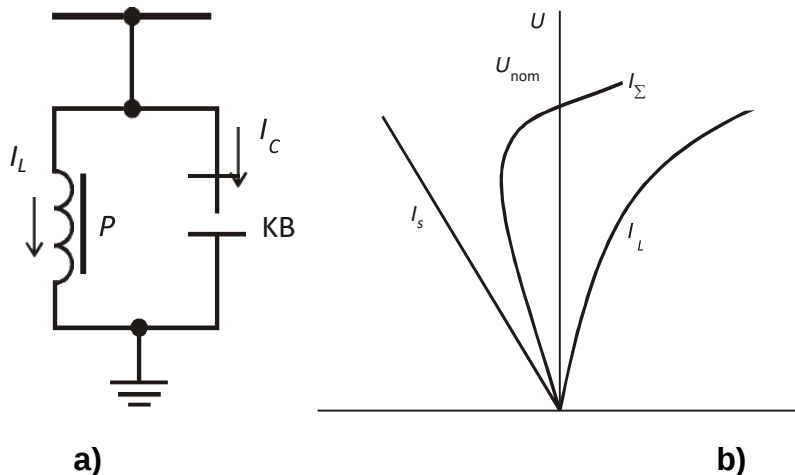
$$K_{OUi} = \frac{U_{o(1)i}}{U_{nom}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Texnologik jarayonlarning ish rejimiga kuchlanishni og'ishi juda katta ta'sir ko'rsatadi. Kuchlanishni pasayishidan texnologik jarayonning davomiyligi ortadi, ayrim xollarda esa bu jarayon butunlay ishdan chiqadi. Induksion va qarshilik pechlarida kuchlanishni 8-10 % kamayishi texnologik jarayonni to'xtashiga olib keladi. Kuchlanishni og'ishi elektr payvandlash qurilmalarining ishlariga xam katta ta'sir ko'rsatadi. Kuchlanishning pasayishi payvandlanayotgan qurilmalarning sifatsiz bo'lishiga olib keladi. Kuchlanish 10% ga kamayganda payvandlash vaqti 20% ga oshadi. An'anaviy kalitlarni ma'lum bir vaqtda kondensator batareyasi o'tish jarayonini ta'minlaydigan tiristorli kalitlarga almashtirish batareyalar yoqilganda tok oshishini va ular o'chirilganda yuqori kuchlanishni kamaytirishga, kondensator batareyasi kommutatsiya chastotasidagi cheklovlarni olib tashlashga va qurilmalarga xossalarni berishga imkon beradi. Ular reaktiv quvvat kompensatsiyasi vazifalarida, shu jumladan tez o'zgaruvchan yuklamalarga ega bo'lgan tarmoqlarda qo'llanilishi mumkin (1-rasm).



1-rasm. Kondensator batareyalarini boshqarish uchun tiristorli o'chirgich.

Reaktorning xarakteristikaning nochiqliq qismidagi qarshiligi unga qo'llaniladigan kuchlanishga qarab o'zgaradi. Kuchlanishning oshishi bilan reaktordagi tok intensiv ravishda o'sib boradi, iste'mol qilinadigan reaktiv quvvatni oshiradi va shu bilan uning ulanish nuqtasida kuchlanishni barqarorlashtirishga yordam beradi (2-rasm). Sinxron kompensatorning minimal uzoq muddatli ruxsat etilgan reaktiv quvvati uning nominal quvvatining 50% dan past bo'lmaydi. Ushbu rejimda iste'mol qilinadigan quvvatning pasayishi sinxron mashinaning EYuK ning pasayishi bilan birga keladi va natijada barqaror ishlash chegarasi kamayadi. Bundan tashqari iste'mol qilinadigan reaktiv quvvatning minimal darajasini cheklaydi. Reaktordagi tok kamayadi, shu bilan birga sinusoidal shaklini yo'qotadi. Ushbu tokning shakli silliq chiziq bilan ko'rsatilgan. Kondensator qurilmalarini quvvatini avtomatik boshqarish xalq xo'jaligida katta unumdorlik beradi, chunki ularni avtomatik boshqarish elektr energiyani tejash va kuchlanishni rostdash bilan elektr energiyani sifatini yaxshilanishini oshishiga yaxshi ta'sir ko'rsatadi. Kondensator batareyalarni avtomatik boshqarishda, avvalombor korxonani elektr ta'minotida ish rejimlarni o'rganib chiqish va aktiv, reaktiv quvvatlar iste'moli grafiklarini qurishdan iboratdir. Reaktiv quvvatni talab qiladigan individual ite'molchilarni yoki guruh ite'molchilarini umumiy qabul qiladigan reaktiv quvvati aniqlanib, shunga mos ravishda komplekt kondensator batareyalar tanlanadi. Ularni avtomatik boshqarish esa ma'lum paytlarda distansion ishga tushirishdan ko'ra yuqori effekt beradi. Kondensator batareyalarni rostdash bir pog'onali yoki ko'p pog'onali bo'lishi mumkin.

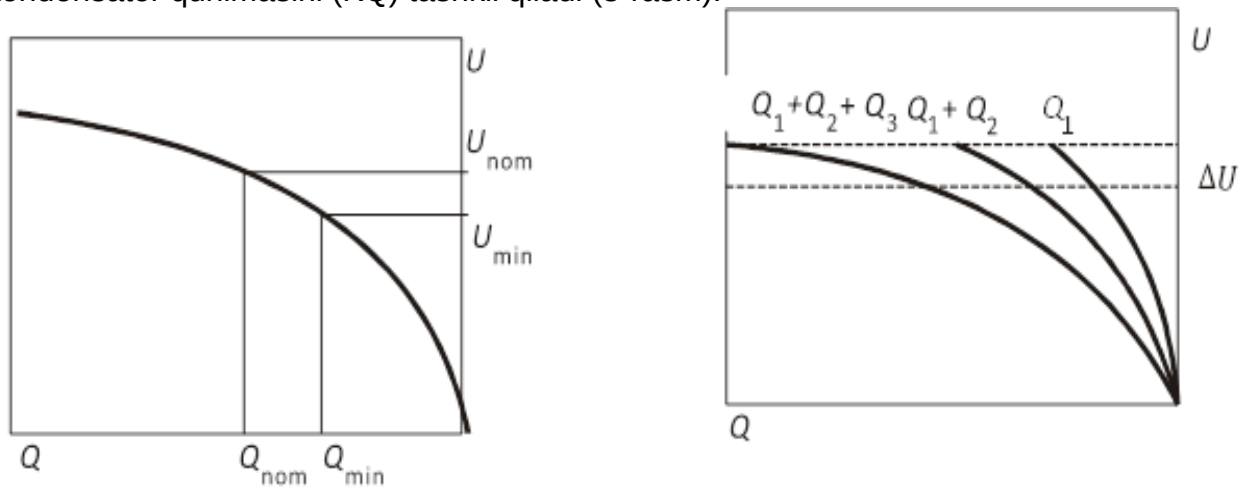


2-rasm. To'yinadigan reaktorli parametrik reaktiv quvvat kompensatsiyasi: a- prinsipial sxemasi, b-statik xarakteristikasi.

Tarmoqqa ulanish nuqtalarida kuchlanish o'zgarishi va doimiy kuchlanish og'ishining ruxsat etilgan maksimal qiymati 0,38 kV ($\delta U_y + U_t$) oddiy rejimlarda ko'p bo'lmisligi kerak. Nominal kuchlanishning 10% ni tashkil qiladi.

$$\delta U_t = \frac{U_{amp} - U_{amp+1}}{1.41 U_{nom}} * 100\% \quad (8)$$

U_{amp} , va U_{amp+1} , asosiy chastota kuchlanishlarining amplituda qiymatlari konvertining ketma-ket ekstremum va gorizontaal qismining qiymatlari. Qurilmalar va kuchlanishning boshqa tez o'zgarishi elektr lampalar tomonidan yaratilgan yorug'likning inson ko'ziga sezilarli va yoqimsiz o'zgarishiga olib keladi. Kuchlanish tebranishlarining chastotasi oshishi bilan ko'zning multilovchi chiroqlarining chaqnash xususiyati kuchayadi va shunga mos ravishda kuchlanish o'zgarishining ruxsat etilgan me'yoriy doirasi kamayadi. Hozirgi kondensatorlarning haddan tashqari nominal quvvati bo'yicha 30% gacha va kuchlanish bo'yicha – 10% gacha yuklanishi mumkin. Bir-biriga parallel yoki ketma-ket yoki parallel-ketma-ket ulangan kondensatorlar guruhiga kondensator batareyasi deyiladi. Kommutatsiya moslamasi, himoya va boshqarish vositalari bilan jihozlangan kondensator batareyasi kondensator qurilmasini (KQ) tashkil qiladi (3-rasm).



3-rasm. Bir seksiyali (a) va uch seksiyali (b) qismdan iborat kondensator qurilmasining statik tasniflari.

Xulosa

Turli iste'molchilar guruhlarining taqsimot tarmoqlarida elektr energiyasi sifatini ta'minlash bilan bog'liq muammolar ko'rib chiqildi. Ko'rsatilganidek, elektr energiyasi sifatining yomonlashishining asosiy sabablaridan biri-nochiziqli xususiyatlariga ega energiya tejoychi qurilmalarining keng tarqalishi. Elektr energiyasi sifatini boshqarish uchun reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish, yuqori garmonikalarni tok va kuchlanish tarmoqlarida kamaytirish, shuningdek, boshqa energiya sifatini ko'rsatkichlarini tartibga solish imkonini beradigan ko'p funksiyali moslashuvchan qurilmalarni yaratish zarur. Passiv filtr-kompensatsiya qurilmalarini hisoblash usuli ishlab chiqilgan bo'lib, u filtrning operatorli kirish qarshiligi parametrlarining fazosida maqsadli funksiyani minimallashtirishga asoslangan. O'zgaruvchan parametrlar filtrning operatorli qarshiligi qutblari va normalizatsiya koeffitsiyenti hisoblanadi. Rostlash sintez usullarini qo'llash filt kompensatsiya qurilmalarini murakkab rezonans tizimi sifatida ko'rib chiqishga va filtrning tarmoqli qismlari bilan tashqi tarmoq o'rtasidagi o'zaro ta'sirni hisobga olish imkonini beradi. Taklif etilgan usul, reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish, kanonik bo'lmagan toq garmonikalarni kamaytirish va nonormal garmonikalarni kuchaytirishni oldini olishni ta'minlovchi minimal tartibdagi filtr-kompensatsiya qurilmalarni loyihalash imkonini beradi. Gibrid filtr-kompensatsiya qurilmalarini hisoblash usuli taklif etilgan bo'lib, u passiv va aktiv filtrlar parametrlarining aralash fazosida filtr-kompensatsiya qurilmalarini xususiyatlarini optimallashtirishga



asoslanadi. Loyihalangan qurilma reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish, shuningdek, nohiziqli yuklamalarni va tashqi tarmoq tomonidan yaratilgan yuqori garmonikalarni tokva kuchlanish tarmoqlarida kamaytirishni ta'minlaydi. Taklif etilgan passiv va gibrid filtr-kompensatsiya qurilmalarni hisoblash usullari passiv filtr-kompensatsiya qurilmalarni optimal loyihalash uchun interaktiv dasturiy ta'minotni ishlab chiqishda qo'llanilgan. Ushbu dasturiy ta'minot yordamida yuqori miqdordagi nohiziqli yuklamaga ega iste'molchilar uchun filtr-kompensatsiya qurilmalari loyihalangan.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

- [1]. Ibadullayev M.I., Tovboyev A.N., Yesenbekov A.K., Nazarov A.I. Avtoparametrik tebranishlarni tahlil qilishda chastota-energiya munosabatlari // «O'zbekiston konchilik xabarnomasi» ilmiy-texnik va ishlab chiqarish jurnali. – Navoiy, 2017. № 2. 165-167 betlar
- [2]. Tog'ayev I.B., Isoqulov D.SH., Turniyozov Z.A. Havo elektr uzatish liniyalarining holatini baholash bilan ularni monitoring qilish // Central Asian Research Journal For Interdisciplinary Studies (CARJIS) ISSN (online): 2181-2454 Volume 2 | Issue 5 | May, 2022.
- [3]. Tovboyev A.N., Ibadullayev M.I., Murodov H.Sh., Narzullayev B.Sh. Yuqori kuchlanishli elektr tarmoq va tizimlarida subgarmonik ferreazonans. «O'zbekiston konchilik xabarnomasi» ilmiy-texnik va ishlab chiqarish jurnali – Navoi 2020. №4 (83). 110-113 bet
- [4]. Mavlonov J.A., Mardonov D.Sh. "Rudani yanchuvchi tegirmonlarni elektr energiya samaradorligini oshirish usullari" // Konchilik xabarnomasi. Ilmiy texnik va ishlab chiqarish jurnali. – Navoiy, 2022. № 3. 102-104 bet.
- [5]. Tovboyev A.N., Baynazarov G.G., Jumayev Z.I. Bo'lingan ferromagnit elementga ega bo'lgan uch fazali zanjirlarda uchinchi darajali subarmonik tebranishlarni tahlil qilish. Ilm-fan, texnika va texnologiyalar bo'yicha ilg'or tadqiqotlar xalqaro jurnali. Hindiston, IJARSET mualliflik huquqi. Jild. 6, 12-son, 2019 yil dekabr, 12229-12233-betlar.
- [6]. Tovboyev A.N., Ibadullayev M.I., Murodov H.Sh., Narzullayev B.Sh. Yuqori kuchlanishli elektr tarmoq va tizimlarida subgarmonik ferreazonans. «O'zbekiston konchilik xabarnomasi» ilmiy-texnik va ishlab chiqarish jurnali – Navoi 2020. №4 (83). 110-113 bet.