



0.4/6/10 KVLI ELEKTR TARMOQLARIDA ENERGIYA YO'QOTISHLARINI  
ZAMONAVIY DASTURIY MAJMUALAR YORDAMIDA OPTIMALLASHTIRISH VA  
TIZIM BARQARORLIGINI TA'MINLASH

Xalilova F.A

Farg'ona davlat texnika universiteti, PhD, katta o'qituvchi, feruza.xalilova@fstu.uz

Dovlatov Sh.Sh

Farg'ona davlat texnika universiteti, 1-bosqich magistranti, shahzoddavlatov305@gmail.com

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada past va o'rta kuchlanishli (0.4/6/10 kV) taqsimlovchi elektr tarmoqlaridagi texnik yo'qotishlarni zamonaviy intellektual dasturlar yordamida hisoblash va optimallashtirish masalalari tadqiq etiladi. Energiya yo'qotishlarini kamaytirishning tizim barqarorligiga (stability) va ishonchligiga ta'siri ilmiy tahlil qilingan. Tadqiqotda DIgSILENT PowerFactory va ETAP kabi dasturiy platformalarning algoritmlari hamda reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish orqali tizimni optimallashtirish usullari taklif etilgan.

**Kalit so'zlar:** Elektr tarmoqlari, texnik yo'qotishlar, optimallashtirish, tizim barqarorligi, DIgSILENT, ETAP, MATLAB, Python, reaktiv quvvat, energiya samaradorligi.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ  
СИСТЕМЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,4/6/10 кВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

**Ф.А. Халилова**

Ферганский государственный технический университет, PhD, старший преподаватель, feruza.xalilova@fstu.uz

**Довлатов Ш.Ш**

Ферганский государственный технический университет, магистрант 1 курса, shahzoddavlatov305@gmail.com

**Аннотация:** В данной статье исследуются вопросы расчёта и оптимизации технических потерь в распределительных электрических сетях низкого и среднего напряжения (0,4/6/10 кВ) с использованием современных интеллектуальных программных средств. Проведён научный анализ влияния снижения энергетических потерь на устойчивость и надёжность электрической системы. В исследовании предложены методы оптимизации системы на основе алгоритмов программных платформ DIgSILENT PowerFactory и ETAP, а также за счёт компенсации реактивной мощности.

**Ключевые слова:** Электрические сети, технические потери, оптимизация, устойчивость системы, DIgSILENT, ETAP, MATLAB, Python, реактивная мощность, энергоэффективность.



OPTIMIZATION OF ENERGY LOSSES AND ENSURING SYSTEM STABILITY  
IN 0.4/6/10 kV ELECTRICAL NETWORKS USING MODERN SOFTWARE  
COMPLEXES

F.A. Khalilova

*Fergana State Technical University, PhD, Senior Lecturer, feruza.xalilova@fstu.uz*

Sh.Sh. Dovlatov

*Fergana State Technical University, First-Year Master's Student, shahzoddavlatov305@gmail.com*

**Abstract:** *This article investigates the issues of calculating and optimizing technical losses in low- and medium-voltage (0.4/6/10 kV) electrical distribution networks using modern intelligent software tools. A scientific analysis of the impact of reducing energy losses on system stability and reliability is presented. The study proposes system optimization methods based on the algorithms of DIgSILENT PowerFactory and ETAP software platforms, as well as through reactive power compensation.*

**Keywords :** *Electrical networks, technical losses, optimization, system stability, DIgSILENT, ETAP, MATLAB, Python, reactive power, energy efficiency.*

## KIRISH

Elektr energetika tizimlari zamonaviy sanoat va ijtimoiy hayotning ajralmas qismi bo'lib, ularning samarali ishlashi iqtisodiy va texnik jihatdan juda muhimdir. Energiya ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash tizimlarida energiya yo'qotishlarini minimallashtirish, tizim barqarorligini saqlash, yuklama va kuchlanishni optimallashtirish kabi murakkab masalalarni yechish zarur.

Bunday murakkab optimallashtirish masalalarini qo'lda yoki an'anaviy hisoblash usullari bilan hal qilish amaliy jihatdan qiyin. Shu sababli, dasturiy vositalar yordamida tizim parametrlarini modellashtirish va optimallashtirish muhim ahamiyat kasb etadi.

Elektr energetika tizimlarida optimallashtirish masalalarini yechishda dasturiy vositalar energiya ishlab chiqarishni taqsimlash, reaktiv quvvatni boshqarish, yuklama grafigini optimallashtirish kabi muhim masalalarni samarali hal qilish imkonini beradi. Bugungi kunda zamonaviy texnologiyalarning dasturiy vositalari yordamida turli shakildagi energetika bo'yicha elektron resurslarni yaratishning keng imkoniyatlari mavjud bo'lib, MATLAB, Python, C++ Builder va boshqa dasturiy muhitlar eng optimal yechimlarni ta'minlovchi vositalar sifatida keng qo'llanilmoqda. Shu bilan birga, sun'iy intellekt va evolyutsion algoritmlarga asoslangan dasturiy vositalar zamonaviy energiya tizimlarida murakkab va nochiqli optimallashtirish masalalarini hal qilishda samarali qo'llanilmoqda.

Elektr energetika tizimlari murakkab, ko'p parametrliligi va dinamik tizimlardir. Ularning samarali ishlashi optimal boshqaruv va optimallashtirish masalalarini yechishga bog'liq.

Masalan, tizimda energiya ishlab chiqarishni taqsimlash, yo'qotishlarni minimallashtirish, kuchlanish va chastotani barqarorlashtirish kabi masalalarni qo'lda yechish amaliy jihatdan qiyin. Shu sababli maxsus dasturiy vositalardan foydalanish zarur.

Global energetika strategiyasida energiya samaradorligini oshirish va texnik yo'qotishlarni minimallashtirish ustuvor vazifa hisoblanadi. O'zbekiston energiya tizimida



umumiy yo'qotishlarning salmoqli qismi (60% dan ortig'i) ayniqsa 0.4/6/10 kVli taqsimlovchi tarmoqlar hissasiga to'g'ri keladi. Ushbu kuchlanish darajasidagi tarmoqlar iste'molchilarga bevosita yaqinligi, liniyalarning uzunligi va yuklamalarning dinamik o'zgaruvchanligi bilan ajralib turadi. An'anaviy hisoblash usullari tarmoqning real vaqtdagi holatini va barqarorlik ko'rsatkichlarini to'liq aks ettira olmaydi. Shuning uchun zamonaviy dasturiy majmualarni qo'llash orqali optimallashtirish usullarini ishlab chiqish dolzarb ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

## 2. ELEKTR TIZIMI BARQARORLIGI VA YO'QOTISHLARNING O'ZARO BOG'LIQLIGI

Energiya tizimida barqarorlik — bu tizimning kichik yoki katta g'alayonlardan so'ng dastlabki (yoki unga yaqin) muvozanat holatiga qaytish qobiliyatidir. 0.4-10 kVli tarmoqlarda yo'qotishlar va barqarorlik quyidagi fizik bog'liqlikka ega:

1. Kuchlanish pasayishi (Voltage Drop): Yo'qotishlar yuqori bo'lgan liniyalarda kuchlanish pasayishi ortadi, bu esa kritik yuklama nuqtalarida kuchlanish barqarorligining buzilishiga (voltage collapse) olib kelishi mumkin.

2. Issiqlik rejimi: Liniyalarda faol quvvat yo'qotishlarining ortishi o'tkazgichlarning qizishiga sabab bo'ladi. Bu esa qarshilikning ( $R$ ) yanada ortishiga va liniyaning o'tkazuvchanlik qobiliyati (static stability margin) pasayishiga olib keladi.

3. Reaktiv quvvat balansi: Reaktiv quvvatning samarasiz taqsimlanishi tizimda qo'shimcha tok yuklamasini keltirib chiqaradi, bu esa barqarorlik zaxirasini kamaytiradi.

## 3. ZAMONAVIY DASTURIY MAJMUALAR VA HISOBLASH METODOLOGIYASI

Bugungi kunda elektr tarmoqlarini modellashtirishda deterministik va stoxastik usullarni birlashtirgan dasturiy ta'minotlar qo'llaniladi:

- DIgSILENT PowerFactory: Ushbu dastur tarmoqni "Balanced" va "Unbalanced" (nosimmetrik) rejimlarida tahlil qilish imkonini beradi. 0.4 kVli tarmoqlarda fazalararo yuklamaning notekisligi yo'qotishlarni 20-30% gacha oshirishi sababli, DIgSILENT'ning to'rt simli (4-wire) modelidan foydalanish yuqori aniqlikni ta'minlaydi.

- ETAP (Electrical Transient Analyzer Program): Ushbu platforma "Optimal Power Flow" (OPF) algoritmi orqali tizimdagi yo'qotishlarni minimal darajaga tushiruvchi eng maqbul kuchlanish darajasi va reaktiv quvvat manbalari quvvatini avtomatik hisoblab beradi.

### 3.1. MATEMATIK MODEL VA OPTIMALLASH MASALASINING QO'YILISHI

Elektr tarmoqlarida texnik yo'qotishlar asosan aktiv quvvat yo'qotishlari bilan ifodalanadi va quyidagi klassik tenglama orqali aniqlanadi:

$$P_{\text{loss}} = \sum_{i=1}^n I_i^2 R_i$$

bu yerda:

- $I_i$  —  $i$ -uchastkadagi tok,
- $R_i$  — liniya qarshiligi.

Tizimni optimallashtirish masalasi quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\min P_{\text{loss}}$$

cheklovlar bilan:



$$P_i^{\text{gen}} - P_i^{\text{load}} = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)$$

$$Q_i^{\text{gen}} - Q_i^{\text{load}} = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)$$

hamda:

$$V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max}$$

Mazkur optimallashtirish masalasi Optimal Power Flow (OPF) doirasida yechilib, zamonaviy dasturiy majmualarda iteratsion usullar orqali amalga oshiriladi

#### 4. OPTIMALLASHTIRISH USULLARINI ISHLAB CHIQUISH

Maqolada energiya yo'qotishlarini kamaytirish va barqarorlikni oshirish uchun quyidagi integratsiyalashgan yechimlar taklif etiladi:

4.1. Reaktiv quvvatni intellektual kompensatsiya qilish  
Taqsimlovchi tarmoqlarda  $\cos \varphi$  ko'rsatkichini 0.85 dan 0.95 ga ko'tarish tarmoqdagi to'liq quvvat yo'qotishlarini quyidagi formula asosida kamaytiradi:

$$\Delta P = \left( 1 - \left( \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right)^2 \right) \times 100\%$$

Zamonaviy dasturlar yordamida kondensator qurilmalarini o'rnatishning optimal nuqtalari (Optimal Capacitor Placement) aniqlanadi.

4.2. Kuchlanish darajasini adaptiv boshqarish  
6/10 kVli podstansiyalarda kuchlanishni yuklama grafigiga mos ravishda (LTC - Load Tap Changer yordamida) boshqarish orqali liniya oxiridagi kuchlanish barqarorligini ta'minlash va oqimlar oqishini optimallashtirish.

4.3. Tarmoq konfiguratsiyasini optimallashtirish  
Tarmoqdagi halqasimon sxemalarni ochiq nuqtalarini (Optimal Tie-Open Point) dasturiy tahlil qilish orqali energiya oqimlarini eng kam qarshilik yo'nalishi bo'yicha yo'naltirish.

#### 5. TAHLILY NATIJALAR

O'tkazilgan simulyatsiya tajribalari shuni ko'rsatadiki, zamonaviy dasturlar yordamida kompleks optimallashtirish tadbirlari qo'llanilganda:

- Texnik yo'qotishlar darajasi 12-18% ga kamayadi;
- Tizimdagi kuchlanish og'ishlari ruxsat etilgan  $\pm 5\%$  doirasida barqarorlashadi;
- Transformator va liniyalarning yuklanish zaxirasi 15-20% ga ortadi.

Shuningdek, olib borilgan hisoblashlarda DIGSILENT PowerFactory dasturida 10 kVli radial tarmoq modeli asosida yuklama 15-20% ga oshirilganda, optimallashtirishsiz rejimda kuchlanish pasayishi 8% gacha yetgani kuzatildi. Taklif etilgan optimallashtirish usullari qo'llanilganda esa ushbu ko'rsatkich 4.5% gacha kamaydi.

ETAP muhitida bajarilgan OPF hisoblari natijasida reaktiv quvvatni optimal taqsimlash orqali liniya toklarining 10-14% ga kamayishi va natijada issiqlik yo'qotishlarining sezilarli darajada pasayishi aniqlandi.

Bu natijalar taklif etilgan yondashuvning amaliy samaradorligini tasdiqlaydi.

**Ilmiy yangilik**



Mazkur tadqiqotning ilmiy yangiligi shundan iboratki, 0.4–10 kVli taqsimlovchi tarmoqlarda energiya yo‘qotishlarini kamaytirish masalasi tizim barqarorligi bilan uzviy bog‘liq holda kompleks tarzda ko‘rib chiqildi. DIgSILENT va ETAP dasturlarining integratsiyalashgan qo‘llanilishi asosida reaktiv quvvatni boshqarish va tarmoq konfiguratsiyasini optimallashtirishning samarali usuli taklif etildi.

#### XULOSA

Zamonaviy dasturiy vositalar optimallashtirish masalalarini tez, aniq va samarali yechishga imkon beradi, shuningdek murakkab tizimlarning dinamik xatti-harakatlarini hisobga oladi.

0.4/6/10 kVli elektr tarmoqlarida energiya yo‘qotishlarini zamonaviy dasturiy majmualar orqali hisoblash — bu nafaqat iqtisodiy tejash, balki butun energiya tizimining barqaror faoliyatini ta‘minlash garovidir. Raqamli modellashtirish usullarini joriy etish ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish bilan birga, tarmoqning avariya xavfchidamliligini va energiya sifatini xalqaro standartlar darajasiga olib chiqadi.

#### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Kundur, P. "Power System Stability and Control". McGraw-Hill Education.
2. DIgSILENT PowerFactory Technical Documentation.
3. O‘zbekiston Respublikasi Elektr tarmoqlaridan foydalanish qoidalari.
4. F.A.Xalilova. Ta‘limda zamonaviy raqamli texnologiyalaridan foydalanib “Elektr texnik materiallar” fanini o‘qitishda amaliy mashg‘ulotlarni samarali tashkil etish. Academic research in educational sciences 2 (CSPI conference 3), 414-419.
5. Khalilova F. A., Abdurashidov U. Z. Technical Analysis of Oil of Transformers Working in LongTerm Operation //Eurasian Journal of Engineering and Technology. – 2023. – T. 18. – C. 40-44.
6. Jabborov S. I. et al. Optimization of employment of nitric fertilizer and inhibitors of nitrification in cultivating cotton plant in condition of Zarafshan valley //ABSTRACTS OF PAPERS OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. – 1155 16TH ST, NW, WASHINGTON, DC 20036 USA : AMER CHEMICAL SOC, 2001. – T. 221. – C. U57-U57.
7. Холиддинов И. Х., Неъматжонов Х., Комолддинов С. Моделирование коэффициента несимметрии и потерь мощности в электрических сетях 0, 4 кв //Известия. – 2021. – Т. 2. – С. 255.
8. K.I.Khosiljonovich. Electric power quality analysis 6-10/0.4 kV distribution networks. Energy and Power Engineering 8 (6), 263-269.