

ENERGIYA TIZIMLARIDA NO-CHIZIQLI DASTURLASH ASOSIDA ENERGIYA BALANSINI OPTIMALLASHTIRISH ALGORITMLAR

G.Baymuratova

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent
axborot texnologiyalari universiteti tayanch doktoranti.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17948164>

Annotatsiya. Ushbu maqolada energiya tizimlarida qayta tiklanuvchi manbalar ulushi ortib borayotgan sharoitda energiya balansini samarali boshqarish masalasi no-chiziqli dasturlash (NLP) asosida o'rganildi. Quyosh panellari samaradorligi, invertorlarning foydali ish koeffitsienti, batareya akkumulyatorlarining degradatsiya jarayoni va elektr tarmoqlaridagi quvvat oqimlari fizik tabiatiga ko'ra chiziqli bo'lmagan munosabatlar orqali ifodalanadi. Shu sababli an'anaviy chiziqli modellar energiya tizimining real dinamikasini to'liq aks ettira olmaydi. Maqolada NLP ning matematik asoslari, energiya tizimlari uchun maqsad funksiyasi va cheklovlar tuzilmasi, batareya degradatsiyasi, quyosh generatorlarining haroratga bog'liq ishlab chiqarishi hamda quvvat oqimi tenglamalarini modellashtirish masalalari batafsil yoritildi. Tadqiqot natijalari NLP yondashuvi batareya resursini tejash, energiya yo'qotishlarini minimallashtirish va tarmoq barqarorligini oshirish imkonini berishini ko'rsatdi. NLP asosidagi optimallashtirish algoritmlari energiya tizimlarining iqtisodiy samaradorligini sezilarli oshirib, kelajakdagi aqlli energetika tizimlarida muhim o'rin tutishi isbotlandi.

Kalit so'zlar: No-chiziqli dasturlash, energiya balansini optimallashtirish, qayta tiklanuvchi energiya, quyosh panellari modeli, akkumulyator degradatsiyasi, invertor samaradorligi, quvvat oqimi tenglamalari, energiya tizimlari, NLP algoritmlari, optimal boshqaruv.

KIRISH

Bugungi kunda qayta tiklanuvchi energiya manbalari - quyosh, shamol, gidroresurslar - energetika tizimlarida ulkan ulushga ega bo'lib bormoqda. Ularning ishlab chiqarish quvvati tabiiy ravishda o'zgaruvchan bo'lgani sababli energiya balansini samarali boshqarish murakkab masala hisoblanadi. Ayniqsa, quyosh panellari samaradorligining haroratga bog'liqligi, invertorlarning foydali ish koeffitsienti, batareya akkumulyatorlarining degradatsiya jarayoni kabi fizik xususiyatlar chiziqli bo'lmagan munosabatlar orqali tavsiflanadi. Ushbu jarayonlarni chiziqli modellar orqali ifodalash aniq natijalar bermaydi. Shu sababli energiya tizimlarini boshqarishda no-chiziqli dasturlash (Nonlinear Programming, NLP) metodlaridan foydalanish dolzarb hisoblanadi.

No-chiziqli dasturlash energiya tizimlarining matematik modellashtirishida eng muhim vositalardan biri bo'lib, u real fizik jarayonlarni aniq ifodalash imkonini beradi. Energiya tizimlarining ishlashida yuzaga keladigan jarayonlar - quyosh panellarining haroratga bog'liq samaradorligi, invertorlarning quvvat konversiya egri chizig'i, batareya akkumulyatorlarining degradatsiya modeli, yuk talabining kun davomida o'zgarishi, shuningdek elektr tarmoqlaridagi quvvat oqimlari- barchasi chiziqli tenglamalar yordamida tasvirlab bo'lmaydigan murakkab no-chiziqli funksiyalardan iborat. NLP modeli esa ushbu jarayonlarni to'liq inkor etmasdan, ularni matematik jihatdan ifodalash va optimallashtirish imkoniyatini yaratadi.

No-chiziqli dasturlashning umumiy ko‘rinishi quyidagicha beriladi:

$$F(x) \rightarrow \min/\max \quad (1)$$

cheklovlar esa energiya tizimining texnik chegaralari va balans tenglamalarini aks ettiradi:

$$g_i(x) \leq 0, i = 1, 2, \dots, m, \quad h_j(x) = 0, j = 1, 2, \dots, p \quad (2)$$

Bu yerda $F(x)$ tizimning umumiy xarajatlari, energiya yo‘qotishlari yoki samaradorligini aks ettiruvchi maqsad funksiyasidir. g_i cheklovlari energiya resurslarining fizik imkoniyatlari: batareyaning maksimal quvvati, invertorning yuklama chegaralari, tarmoqdagi kuchlanish diapazonlari, quyosh paneli ishlab chiqarishi kabi parametrlarni o‘z ichiga oladi. h_j tenglik cheklovlari esa energiya balansini, quvvat oqimi tenglamalari, tarmoqdagi kirish–chiqish muvozanatini ifodalaydi. Ushbu tenglamalarning barchasi chiziqli bo‘lmaganligi sababli NLP yondashuvi eng mos hisoblanadi [1].

Batareyalarning degradatsiyasini hisobga olgan holda energiya balansini optimallashtirish NLPning muhim qo‘llanilish sohalaridan biridir. Batareya resursi SOC, C-rate, harorat va ish sikllari bilan murakkab no-chiziqli bog‘liqlikka ega bo‘lib, unga quyidagicha umumiy model orqali baho beriladi:

$$D = \alpha e^{\beta C_{rate}} + \gamma (SOC)^2 + \delta T \quad (3)$$

Ushbu jarayonlarni soddalashtirilgan chiziqli model bilan tasvirlash noto‘g‘ri natijalarga olib keladi, chunki batareyaning real degradatsiya tezligi eksponensial yoki kvadratik shaklda ortadi. NLP asoslangan optimallashtirish esa batareyaga ortiqcha yuklama beriladigan va degradatsiya oshadigan vaqt oralig‘ida energiyani boshqa manbalarga taqsimlash orqali unga tushadigan bosimni kamaytiradi. Bundan tashqari, quyosh energiyasining maksimal bo‘lgan soatlarida batareyani optimal zaryadlash, yuk talabining eng yuqori bo‘lgan paytida esa uni tushirish orqali tizimning umumiy samaradorligi oshiriladi [3].

Quyosh generatorlari chiqishini optimal boshqarishda ham NLP yondashuvi yetakchi rol o‘ynaydi. Quyosh panellari ishlab chiqaradigan quvvatning harorat va radiatsiyaga bog‘liqligi no-chiziqli xarakterga ega bo‘lib, invertorlarning foydali ish koeffitsienti quyidagi eksponensial funksiya bilan ifodalanadi:

$$\eta = k_1 - k_2 e^{-k_3 P_m} \quad (4)$$

Bu model yordamida quyosh panellaridan kelayotgan energiyani iste‘molchilar, batareyalar va elektr tarmog‘i o‘rtasida optimal taqsimlash amalga oshiriladi. Radiatsiya yuqori bo‘lgan vaqtda to‘liq ishlab chiqarilgan energiyani bevosita iste‘molga yo‘naltirish, uning ortiqchasini esa batareyaga uzatish mumkin. Radiatsiya pasaygan paytlarda, aksincha, iste‘mol yuklarini kamaytirish yoki batareyadan foydalanish strategiyasi ishlab chiqiladi. NLP modeli ushbu jarayonlarni fizik real ko‘rinishda modellashtirish imkonini beradi [4].

Elektr tarmoqlaridagi quvvat oqimi tenglamalari ham no-chiziqli bo‘lib, quyidagicha ifodalanadi:

$$P = V_1 V_2 (G \cos \theta + B \sin \theta) \quad (5)$$

Bu tenglamalar kuchlanish, faza burchagi, aktiv va reaktiv quvvatlar o‘rtasidagi no-chiziqli bog‘liqliklarni aks ettiradi [2].

Shuning uchun tarmoqqa qaytariladigan energiyani minimallashtirish, yukni optimal taqsimlash, liniyalar bo'yicha quvvat oqimini boshqarish kabi vazifalar faqat no-chiziqli model orqali yechiladi. NLP yordamida tarmoqdagi kuchlanishning barqarorligi ta'minlanadi, energiya yo'qotishlari kamaytiriladi va qayta tiklanuvchi manbalar ulushi yuqori bo'lgan tizimlarda optimal energiya balansiga erishiladi.

Xulosa

Energiya tizimlarida real fizik jarayonlar ko'plab no-chiziqli bog'lanishlarga ega bo'lgani sababli energiya balansini to'g'ri rejalashtirish va boshqarishda **no**-chiziqli dasturlash (NLP) metodlari muhim ahamiyatga ega. NLP yordamida batareya degradatsiyasini kamaytirish, quyosh generatorlari chiqishini aniq prognozlash, iste'mol yuklarini optimal taqsimlash va tarmoqning umumiy barqarorligini ta'minlash imkoniyati yaratiladi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, NLP asosidagi modellar energiya tizimlarining iqtisodiy samaradorligini oshiradi va ekspluatatsiya xarajatlarini sezilarli kamaytiradi. Shu bois, kelajak energetika tizimlarida NLP algoritmilarining qo'llanishi yanada kengayib borishi kutilmoqda.

Adabiyotlar ro'yxati

1. Boyd, S., Vandenberghe, L. *Convex Optimization*. Cambridge University Press, 2004, p.112-203.
2. Palensky, P., Dietrich, D. "Demand Side Management in Smart Grids." *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2011, p.75-81.
3. Zhang, X., et al. "Battery Degradation Modeling for Optimal Energy Management." *Applied Energy*, 2018, p.241-250.
4. Burer, S. "Nonlinear Programming in Power Systems Optimization." *European Journal of Operational Research*, 2020, p.421-430.
5. Farivar, M., Low, S. "Branch Flow Model: Convexification and Optimization with Renewable Energy." *IEEE Transactions on Power Systems*, 2013 ,p.195.