



Elektr energetika tizimlarining holatlarini dekompozitsiyalash asosida kompleks optimallashtirish

Tulkin Sh. Gayibov¹, Alisher E. Shanazarov^{1, a)}

¹DSc, prof., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; tulgayibov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3619-2844>

^{1,a)} katta o'qituvchi, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; alisher.shanazarov90@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0009-4757-0928>

Dolzarblik: elektr energetika tizimi (EET)ning holatini kompleks optimallashtirish, umumiy holatda, uning qisqa muddatli faoliyat davrining har bir vaqt intervalida ruxsat etilgan ish holatlari sohasida barcha rostlanuvchan parametrlar, ya'ni optimallashtirishda qatnashuvchi stansiyalarning aktiv va reaktiv quvvatlari, boshqa rostlanuvchan manbaalarning reaktiv quvvatlari, tayanch tugunlarining kuchlanishlari, rostlanuvchan transformatorlarning transformatsiyalash koeffitsiyentlari kabilarning elektr energiyani ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash bilan bog'liq bo'lgan umumiy xarajatlarni minimal bo'lishini ta'minlovchi qiymatlarini topishdan iborat. Ushbu masalani ta'sir etuvchi va cheklovchi faktorlarni hisobga olib, yetarlicha katta aniqlikda yechish uchun mavjud modellar va ular asosida hisoblash algoritmlarini takomillashtirish talab etiladi.

Maqsad: elektr energetika tizimlarining qisqa muddatli holatlarini rejalashtirishda barcha rostlanuvchan parametrlar bo'yicha kompleks optimallashtirish masalasining matematik modellarini zamonaviy usullar asosida takomillashtirishdan va uni yechishning samarali algoritmlarini ishlab chiqishdan iborat.

Usullar: tadqiqot jarayonida elektr energetika tizimlarining barqarorlashgan holatlarini hisoblash va optimallashtirishning zamonaviy nazariyasi, nochiqli matematik dasturlash va tizimiy tahlil usullaridan foydalanilgan.

Natijalar: elektr energetika tizimlarining qisqa muddatli holatlarini dekompozitsiyalash asosida kompleks optimallashtirishning mavjud model va usullari takomillashtirilgan. Uning samaradorligini 8-tugunli test sxemasi misolida tadqiq etish natijalari keltirilgan.

Kalit so'zlar: elektr energetika tizimi, optimallashtirish, dekompozitsiya, maqsad funksiyasi, cheklovlar.

For citation: Gayibov T.Sh., Shanazarov A.E. Complex optimization based on decomposition of power system modes. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 1, pp. 8-16.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15094587>

Received: 14.01.2025

Revised: 7.02.2025

Accepted: 18.03.2025

Published: 25.03.2025

Copyright: © Gayibov T.Sh., Shanazarov A.E., 2025. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/>)

Комплексная оптимизация на основе декомпозиции режимов энергосистемы

Тулкин Ш. Гайибов¹, Алишер Э. Шаназаров^{1, a)}

¹DSc, проф., Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; tulgayibov@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-3619-2844>

^{1,a)} старший преподаватель, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; alisher.shanazarov90@mail.ru <https://orcid.org/0009-0009-4757-0928>

Актуальность: задача комплексной оптимизации режимов электроэнергетических систем (ЭЭС) предусматривает определение на каждом интервале времени краткосрочного периода работы оптимальных значений всех регулируемых параметров, т.е. активных и реактивных мощностей станций, участвующих в оптимизации, реактивных мощностей других регулируемых источников, оптимальных напряжений опорных узлов, при которых обеспечиваются минимальные суммарные затраты, связанные с генерацией, передачей и распределением электроэнергии. Решение такой задачи с учетом влияющих и ограничивающих условий с достаточной точностью требует соответствующего усовершенствования существующих математических моделей и алгоритмов расчета на основе современных методов.

Цель: заключается в совершенствовании математических моделей задач комплексной оптимизации режимов электроэнергетических систем, при планировании их краткосрочных режимов по всем регулируемым параметрам на основе современных методов и разработке эффективных алгоритмов их решения.

Методы: в исследовании использованы современные теории расчета и оптимизации установившихся режимов электроэнергетических систем, методы нелинейного математического программирования и системного анализа.



Результаты: усовершенствованы существующие модели и методы комплексной оптимизации краткосрочных режимов электроэнергетических систем на основе декомпозиции. Представлены результаты исследования, показана её эффективность на примере 8-узловой тестовой схемы ЭЭС.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, оптимизация, декомпозиция, целевая функция, ограничение.

Complex optimization based on decomposition of power system modes

Tulkin Sh. Gayibov¹, Alisher E. Shanazarov^{1,a)}

¹ DSc, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; tulgayibov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3619-2844>

^{1, a)} Head teacher, Tashkent State Technical University, 100095, Uzbekistan; alisher.shanazarov90@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0009-4757-0928>

Relevance: the problem of complex optimization of electric power systems (EPS) modes, in general, involves determining, in each time interval of a short-term period of operation, the optimal values of all controlled parameters, i.e. active and reactive powers of stations participating in optimization, reactive powers of other controlled sources, optimal voltages of reference nodes, which ensure minimum total costs associated with the generation, transmission and distribution of electricity. Solving such a problem with sufficient accuracy, taking into account the influencing and limiting conditions, requires appropriate improvement of existing mathematical models and calculation algorithms based on modern methods.

The goal: it consists of improving the mathematical models of problems of complex optimization of electric power systems modes for all regulated parameters based on modern methods and developing effective algorithms for their solution when planning their short-term modes.

Methods: The study uses modern theories of calculation and optimization of steady-state modes of electric power systems, methods of nonlinear mathematical programming and systems analysis.

Results: the existing models and methods of complex optimization of short-term modes of electric power systems based on decomposition are improved. The results of the study of its effectiveness are presented using the example of an 8-node test scheme of the EPS.

Keywords: electric power system, optimization, decomposition, objective function, constraint.

1. Kirish (Introduction)

Hozirgi davrda butun jaxonda elektr energetika tizimlari (EET)ning holatlarini kompleks optimallashtirishning maqsadi rejalashtirilayotgan davrning har bir vaqt intervalida barcha stansiyalarda ishlovchi agregatlarning tarkibini, rostlanuvchan barcha parametrlar – stansiyalarning aktiv va reaktiv quvvatlari (yoki kuchlanishlari), reaktiv quvvat kompensatorlari va sinxron mashinalarning reaktiv quvvatlari (yoki kuchlanishlari) va konturdagi rostlanuvchan transformatorlarining transformatsiyalash koeffitsientlarining iste'molchilarni elektr energiyasi bilan ta'minlashdagi zaruriy ishonchlik, uzatiluvchi elektr energiya talab doirasida ruxsat etiluvchi sifat ko'rsatkichlariga mos kelishi, hamda tizimni ishlatish bilan bog'liq bo'lgan xarajatlar B ni minimal bo'lishini ta'minlovchi qiymatlarini aniqlashdan iborat [1-7].

Ushbu masalasini mavjud an'anaviy algoritmlar yordamida yechish bir qator qiyinchiliklar bilan bog'liq. Masalan, energetika tizimi holatini optimallashtirishda tarmoq faktorining taxminiy hisobga olinishi natijasida aniqlikning pasayishi va bunga mos holda optimallashtirish hisobiga erishiluvchi iqtisodiy samaradorlikning pastligi; elektr tarmoqlarida isrof hosilalarini hisoblashning zarurligi va bunda uning taxminiy qiymatini aniqlovchi chiziqli formulalardan yoki ayrim algoritmlarga nisbatan murakkab bo'lgan Z matritsasi elementlaridan foydalanishga asoslangan usullarning qo'llanilishi; tengsizlik ko'rinishidagi funksional chegaraviy shartlarni hisobga olishning murakkabligi va aniqligining pastligi; elektr stansiyalarining jadval ko'rinishida beriluvchi energetik xarakteristikalarini approksimatsiyalash asosida silliq funksiyalar bilan almashtirish hisobiga aniqlikning pasayishi. Ushbu kamchiliklar elektr energetika tizimlarining holatlarini kompleks optimallashtirish masalasini katta aniqlikda yechimini topish imkonini bermaydi. Shu sababli mavjud usul va algoritmlarni barcha cheklovchi va ta'sir etuvchi faktorlarni hisobga olib, yetarlicha katta aniqlikda tez va ishonchli hisoblash imkonini yaratish yo'nalishida takomillashtirish va bunday talablarga javob beradiganlarini ishlab chiqish dolzarb hisoblanadi.



Ushbu ishda elektr energetika tizimlarining holatlarini kompleks optimallashtirish masalasining yuqorida qayd etilgan bir qator kamchiliklardan holi bo'lgan matematik modeli va uni dekompozitsiyalash asosida yechish algoritmi taklif etilmoqda.

2. Materiallar va usullar (Methods and materials)

EETning holatini dekompozitsiyalash asosida kompleks optimallashtirish masalasini umumiy ko'rinishini qo'yidagicha ifodalash mumkin:

barcha yuqorida sanab o'tilgan rostlanuvchan (optimallashtiriluvchi) parametrlarning IESlarda ko'rilyotgan qisqa muddatli davr davomidagi umumiy yoqilg'i sarfi bilan bog'liq bo'lgan xarajatlar funksiyasi:

$$B = \sum_{i=0}^n \sum_{t \in T} B_{it}(P_{it}) \rightarrow \min. \quad (1)$$

EETning barcha tugunlarda har bir vaqt intervali uchun aktiv va reaktiv quvvat balanslari bo'yicha chegaraviy shartlar:

$$W'_0 = P_0 - \bar{P}_0 = 0; \quad (2)$$

$$W'_i = P_i - \bar{P}_i = 0, \quad i \in \Gamma + H; \quad (3)$$

$$W''_i = Q_i - \bar{Q}_i = 0, \quad i \in \Gamma_1 + H; \quad (4)$$

barcha tugunlardagi ruxsat etilgan minimal va maksimal kuchlanish, optimallashtirishda ishtirok etuvchi IESning aktiv va reaktiv quvvatlari, kompensatorlarning reaktiv quvvatlari, rostlanuvchan transformatorlarning transformatsiya koeffitsientlarining haqiqiy va movhim qismlarini ruxsat etilgan minimal maksimal chegaraviy qiymatlari bo'yicha chegaraviy shartlarni hisobga olib minimal bo'lishini ta'minlovchi optimal qiymatlarini topish talab etiladi:

$$U_i^{\min} \leq U_i \leq U_i^{\max}, \quad i \in \Gamma + H; \quad (5)$$

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}, \quad i \in T; \quad (6)$$

$$Q_i^{\min} \leq Q_i \leq Q_i^{\max}, \quad i \in \Gamma - \Gamma_1; \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} K_l^{\min} &\leq K_l' \leq K_l'^{\max} \\ K_l^{\min} &\leq K_l'' \leq K_l''^{\max} \end{aligned} \right\}, \quad l \in T_K. \quad (8)$$

Bu yerda T – optimallashtirishda qatnashuvchi IESlar jamlanmasi; G – hisobiy elektr stansiyalari to'plami; G_I – rostlanuvchan reaktiv quvvatli tugunlar to'plami (hisobiy elektr stansiyalaridan tashqari); T_k – rostlanuvchan transformatorlar to'plami; $U_i, P_i, Q_i, P_i^{\min}, Q_i^{\min}, U_i^{\min}, P_i^{\max}, Q_i^{\max}, U_i^{\max}$ -- i - chi tugunning rostdash siklini t - intervalida hisobiy va berilgan chegaraviy aktiv va reaktiv quvvatlari hamda kuchlanishlari; $\bar{P}_0, \bar{P}_i, \bar{Q}_i$ - Generatsiyalovchi va yuklama tugunlarining aktiv va reaktiv quvvatlari; $K_l^{\min}, K_l^{\max}, K_l'^{\min}, K_l'^{\max}$ - l - chi shoxobchadagi transformatorning kompleks transformatsiyalash koeffitsienti haqiqiy va mavhum qismining rostdash siklini t - intervalidagi hisobiy va berilgan chegaraviy qiymatlari [8-10].

EET holatini dekompozitsiyalash asosida kompleks optimallashtirishning taklif etilayotgan algoritimga ko'ra u energetika tizimi holatini aktiv quvvat bo'yicha optimallashtirish va elektr tarmog'ining holatini qolgan parametrlar bo'yicha optimallashtirish masalalariga ajratilib, ular ketma-ket tartibda alohida yechiladi. Ularni alohida yechishda ikkinchi masalaning yechimi hisobga olinadi. Bunda aktiv quvvat bo'yicha optimallashtirishda tarmoq faktori, elektr tarmoq holatini qolgan parametrlar bo'yicha optimallashtirishda esa, stansiyalarning optimal aktiv quvvatlari hisobga olinadi. Quyida dekompozitsiyalash natijasida hosil bo'luvchi masalalarning matematik modellari va ularni yechish algoritmlari keltirilgan.

Dekompozitsiyalash natijasida hosil bo'luvchi EET holatini aktiv quvvat bo'yicha tarmoq faktorini hisobga olib optimallashtirish masalasining matematik modelida maqsad funksiyasi (1) ko'rinishida bo'lib, chegaraviy shartlar (2)-(4), (5) va (6) lardan iborat bo'ladi. Optimallashtiriluvchi parametrlar barcha optimallashtirishda qatnashuvchi stansiyalarning aktiv quvvatlari hisoblanadi. Ushbu matematik modeldan foydalanilganda optimallashtiriluvchi parametrlarning ruxsat etilgan sohada (barcha cheklovchi shartlar bajarilgan holatda) elektr tarmoqlaridagi isroflar va IESlarda yoqilg'i sarfi bilan bog'liq bo'lgan xarajatlar minimal bo'lishini ta'minlovchi qiymatlari aniqlanadi [11-16].

Funksional chegaraviy shartlar (5) va (6) lar quyidagi ko'rinishdagi kvadratik jarima funksiyasi yordamida hisobga olinadi:

$$III = \alpha(y - \bar{y})^2; \quad (9)$$



$\mathcal{Y}$, $\overline{\mathcal{Y}}$ - nazorat qilinuvchi parametrlarning hisobiy va chegaraviy qiymatlari. Bunday holatda masala maqsad funksiyasi:

$$F = B + III_U + III_{Pl}; \quad (10)$$

chegaraviy shartlar (2), (3) va (4) larni hisobga olib minimallashtirishga keltiriladi.

Taklif etilayotgan algoritmda rostlanuvchan parametrlarning minimal va maksimal ruxsat etilgan qiymatlari bo'yicha oddiy chegaraviy shartlar har bir iteratsiyada chegaradan chiqqan o'zgaruvchilarni mos chegaralariga keltirish asosida hisobga olinadi.

Har qanday vaqt intervalida stansiyaning navbatdagi k - iteratsiyadagi optimal quvvati gradiyent usuliga muvofiq quyidagicha topiladi:

$$P_i^{(k)} = P_i^{(k-1)} - h_i^{(k)} \cdot \frac{\partial F^{(k-1)}}{\partial P_i}; \quad (11)$$

bu yerda $h_i^{(k)}$ - funksiya minimumiga tushish yo'nalishidagi qadam bo'lib, har bir iteratsiyada uning qiymati quyidagi shart bo'yicha aniqlanadi:

$$h_i^{(k)} = \begin{cases} \alpha_1 h_i^{(k-1)} & \text{agar } \frac{\partial F^{(k-1)}}{\partial P_i} \cdot \frac{\partial F^{(k-2)}}{\partial P_i} > 0, \\ \alpha_2 h_i^{(k-1)} & \text{agar } \frac{\partial F^{(k-1)}}{\partial P_i} \cdot \frac{\partial F^{(k-2)}}{\partial P_i} < 0. \end{cases} \quad (12)$$

α_1, α_2 – tezlashtiruvchi koeffitsiyentlar bo'lib, ularning qiymati quyidagicha tanlanadi:

$$\alpha_1 > 1, \quad 0 < \alpha_2 < 1.$$

$\frac{\partial F}{\partial P_i}$ - P_i ning murakkab funksiyasini hosilasi bo'lib, u quyidagicha hisoblanadi:

$$\frac{\partial F}{\partial P_i} = \frac{\partial \bar{F}}{\partial P_i} + \sum_{j \in I_1+H} \frac{\partial \bar{F}}{\partial P_j} \cdot \frac{\partial P_j}{\partial P_i} + \sum_{j \in I_1+H} \frac{\partial \bar{F}}{\partial Q_j} \cdot \frac{\partial Q_j}{\partial P_i}; \quad (13)$$

$\frac{\partial \bar{F}}{\partial P_i}, \frac{\partial \bar{F}}{\partial P_j}, \frac{\partial \bar{F}}{\partial Q_j}$ - F funksiyaning mos tugunlarning aktiv va reaktiv quvvatlari bo'yicha xususiy

hosilalari. Har bir iteratsiyada ularning qiymatlarini hisoblab chiqiladi.

Qisqa muddatli holatlarni rejalashtirishda elektr tarmoqlarining holatlarini optimallashtirish kompleks optimallashtirish masalasini dekompozitsiyalash asosida hal qilishda yechiluvchi ikkinchi masala hisoblanadi. Ko'rilayotgan davrning har qanday vaqt intervali uchun u odatda stansiyalarning dekompozitsiyalashda hosil bo'lgan birinchi masalani yechish orqali aniqlangan optimal aktiv quvvatlarida amalga oshiriladi.

Taklif etilayotgan algoritmda tugunlarning reaktiv quvvati bo'yicha optimallashtirish ularning kuchlanishi bo'yicha optimallashtirishga keltirib yechiladi. Shu sababli bunday tugunlarning reaktiv quvvatlari bog'langan o'zgaruvchilar qatoriga kiradi. Bunga mos holda balanslovchi stansiyaning aktiv quvvati, kuchlanishi optimallashtiriluvchi tugunlarning reaktiv quvvatlari, reaktiv quvvati rostlanmaydigan tugunlarning kuchlanishlari, liniyalardagi toklarning ruxsat etilgan minimal va maksimal quvvatlari bo'yicha tengsizlik ko'rinishidagi funksional chegaraviy shartlar (5), (6), (7) va (8) lar (9) ko'rinishidagi jarima funksiyalari yordamida hisobga olinib, masala maqsad funksiyasini chegaraviy shartlar (2), (3), reaktiv quvvati rostlanuvchan tugunlar uchun (5) va (8) larni hisobga olib minimallashtirishga keltiriladi:

$$F = \pi(\delta, U, K', K'', P, Q) + III_{P_0} + III_Q + III_U + III_{II} \rightarrow \min. \quad (14)$$

Har bir vaqt intervali uchun tugunning optimal kuchlanishi va transformatorning kompleks transformatsiyalash koeffitsiyentining haqiqiy va mavhum tashkil etuvchilarini navbatdagi k - chi iteratsiyadagi qiymatlari quyidagicha hisoblanadi:

$$U_i^{(k)} = U_i^{(k-1)} - h_i^{(k)} \cdot \frac{\partial F^{(k-1)}}{\partial U_i}; \quad K_l'^{(k)} = K_l'^{(k-1)} - h_l'^{(k)} \cdot \frac{\partial F^{(k-1)}}{\partial K_l'}; \quad K_l''^{(k)} = K_l''^{(k-1)} - h_l''^{(k)} \cdot \frac{\partial F^{(k-1)}}{\partial K_l''}. \quad (15)$$

Bu yerda $h_i^{(k)}, h_l'^{(k)}, h_l''^{(k)}$ - mos o'zgaruvchilar bo'yicha fuksiya (14) ning minimumiga tushish yo'nalishidagi qadam bo'lib, uning qiymati har bir iteratsiyada shart (12) dagi singari aniqlanadi.

(15) dagi maqsad funksiyasining tugunni optimallashtiriluvchi kuchlanishi bo'yicha hosilasi quyidagi ifoda bo'yicha hisoblanadi:

$$\frac{\partial F}{\partial U_i} = \frac{\partial \bar{F}}{\partial U_i} + \sum_{j \in I_1+H} \frac{\partial \bar{F}}{\partial P_j} \cdot \frac{\partial P_j}{\partial U_i} + \sum_{j \in I_1+H} \frac{\partial \bar{F}}{\partial Q_j} \cdot \frac{\partial Q_j}{\partial U_i}. \quad (16)$$

Taklif etilayotgan model va algoritmg muvofiq elektr tarmog'idagi umumiy aktiv quvvat isrofi barcha tugunlarning aktiv quvvatlarining algebraik yig'indisi sifatida ifodalangan:

$$\pi = \sum_{i \in \Gamma+H} P_i = \sum_{i \in \Gamma+H} \left(g_{ii} U_i^2 - U_i \sum_{j \in J_i} U_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij}) \right). \quad (17)$$

Bunga mos tarzda (16) dagi birinchi tashkil etuvchi quyidagicha hisoblanadi:

$$\frac{\partial \bar{F}}{\partial U_i} = \frac{\partial \pi}{\partial U_i} + \frac{\partial III_{P0}}{\partial U_i} + \frac{\partial III_Q}{\partial U_i} + \frac{\partial III_U}{\partial U_i} + \frac{\partial III_{II}}{\partial U_i}. \quad (18)$$

Bu yerda $\frac{\partial \pi}{\partial U_i} = g_{ii} U_i + \frac{P_i}{U_i}.$

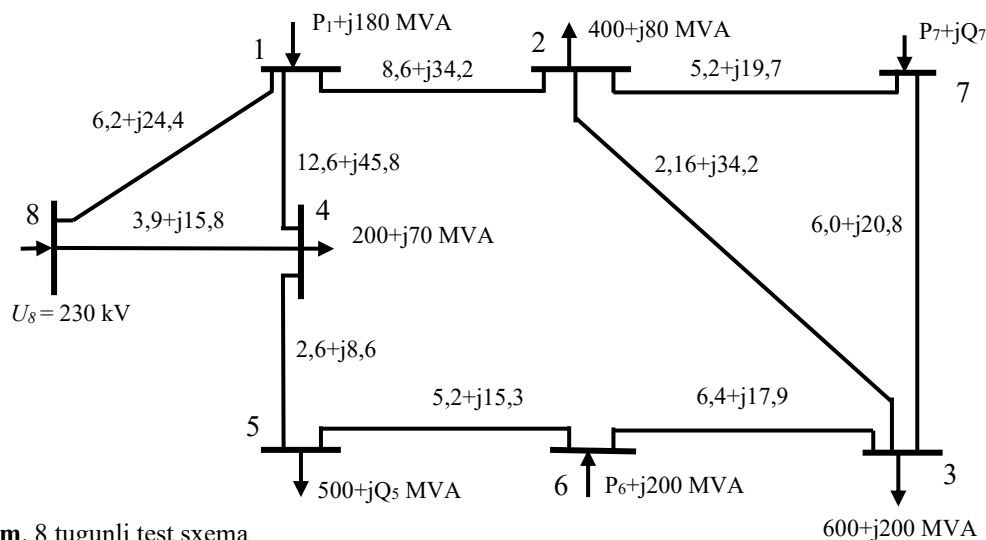
3. Natijalar (Results)

Elektr energetika tizimlarining holatlarini dekompozitsiyalash asosida optimallashtirish masalasining keltirilgan modeli va u asosda yechish algoritmining samaradorligi, jumladan, sxemasi 1- rasmda keltirilgan EET misolida tadqiq qilindi.

1-rasmda 8 tugunli test sxemasi; 2, 3, 4 tugunlarda yuklamalarning qiymatlari va liniya qarshiliklari keltirilgan.

Figure 1 shows an 8-node test circuit, with the values of the loads and line resistances at nodes 2, 3, and 4.

Uning 1, 6, 7, 8 tugunlarida shartli yoqilg'i sarfining nisbiy o'sish xarakteristikasi 1- jadvalda keltirilgan IESlar joylashgan.



1-rasm. 8 tugunli test sxema

Fig.1. 8-node test circuit

1- jadvalda 1, 6, 7, 8 tugunlarida joylashgan IESlarning shartli yoqilg'i sarfining nisbiy o'sish xarakteristikalar keltirilgan.

1- jadval. IESlarning shartli yoqilg'i sarfini nisbiy o'sish xarakteristikalar

Table 1. Characteristics of relative increases in conditional fuel of thermal power plants

IES-1, $B_{1.min} = 115 \text{ t.sh.y./s.}$	$P_1, \text{ MVt}$	100	300	500	700	900	1000
	$b_1, \text{ t.sh.y./MVt.s.}$	0,45	0,85	1,25	1,65	2,05	2,25
IES -6, $B_{6.min} = 71,25 \text{ t.sh.y./s.}$	$P_6, \text{ MVt}$	50	200	400	600	800	900
	$b_6, \text{ t.sh.y./MVt.s.}$	0,3	0,75	1,35	1,95	2,55	2,85
IES -7, $B_{7.min} = 146,25 \text{ t.sh.y./s.}$	$P_7, \text{ MVt}$	70	250	500	600	750	850
	$b_7, \text{ t.sh.y./MVt.s.}$	0,55	1,45	2,7	3,2	3,95	4,45
IES -8, $B_{8.min} = 119,2 \text{ t.sh.y./s.}$	$P_8, \text{ MVt}$	60	200	400	600	800	1000
	$b_8, \text{ t.sh.y./MVt.s.}$	0,44	1,0	1,8	2,6	3,4	4,2

EETning holatini barcha IESlarning aktiv quvvatlari hamda rostlanuvchan reaktiv quvvat manbasiga ega bo'lgan 5 va elektr stansiyasiga ega bo'lgan 7 tugunlarning kuchlanishlari bo'yicha



optimallashtirish talab etilgan.

Ko'rilayotgan misolda 8- tugun va bunga mos holda u yerda joylashgan stansiya IES-8 balanslovchi hisoblanadi.

Taklif etilgan dekompozitsiyalash asosida optimallashtirish modeli va algoritmlarining samaradorligini baholash uchun avvalo optimal yechimlar mavjud algoritmlardan foydalanish asosida hosil qilindi. Ularga muvofiq aktiv quvvat bo'yicha optimallashtirishning har bir qadamida EETning umumiy yuklamasi va isroflar optimallashtirishda qatnashuvchi stansiyalar o'rtasida tarmoq faktorni e'tiborga olib optimal taqsimlanadi [15-19], ya'ni quyidagi shart realizatsiya qilinadi:

$$\eta_i(b_i + u_i) = idem, \quad i = 1, 2, \dots, n;$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_n + \pi, \quad (19)$$

bu yerda P_n – EETning umumiy aktiv yuklamasi; $\eta_i = \frac{1}{1 - \sigma_i}$ - i - chi stansiya tuguni uchun tarmoq

koeffitsiyenti; $\sigma_i = \frac{\partial \pi}{\partial P_i}$ - elektr tarmog'idagi umumiy aktiv quvvat isrofining i - chi stansiyaning aktiv

quvvati bo'yicha hosilasi; u_i – nazorat qilinuvchi liniyalarda aktiv quvvat oqimlari funksiyasining i - chi stansiyaning aktiv quvvati bo'yicha hosilasi.

Butun Rossiya elektr energetika ilmiy-tadqiqot instituti (BEITI) ishlanmalariga ko'ra elektr tarmog'idagi isrof hosilalari σ_i quyidagi ko'rinishdagi chiziqli ifoda bo'yicha hisoblanadi:

$$\sigma_i = \sum_j \alpha_{ij} P_j + \sigma_{i0}; \quad (20)$$

bu yerda α_{ij} – chiziqli ifoda koeffitsiyentlari bo'lib, ularning qiymatlari elektr tarmog'ining xarakterli barqarorlashgan holatlarini hisoblash asosida aniqlanadi; σ_{i0} – chiziqli ifodaning ozod hadi.

2 va 3- jadvallarda mos holda BEITIda va takomillashtirilayotgan model va algoritmlar asosida optimallashtirish natijalari keltirilgan.

Shunday qilib, EET holatini taklif etilgan model va algoritmlar asosida optimallashtirish natijasida hisoblash aniqligining oshishi hisobiga olinuvchi har soatlik iqtisodiy samara BEITIda ishlab chiqilgan algoritmdagiga nisbatan 2,54 t.sh.yo./soat yoki 0,13 % ni, tashkil etdi.

2- jadval. 8 tugunli EET holatini BEITIda ishlab chiqilgan mavjud algoritm asosida optimallashtirish natijalari.

Table 2. Results of optimization of the 8-node EPS state based on the existing algorithm developed at ASRIE.

P_1 , MVt	P_6 , MVt	P_7 , MVt	P_8 , MVt	U_5 , kV	Q_5 , MVAR	U_7 , kV	Q_7 , MVAR	π , MVt
628,42	489,75	297,06	365,33	233,36	141,68	241,91	290,70	80,55
Umumiy shartli yoqilg'i sarfi = 1965,26 t.sh.y./s								
EETning barqarorlashgan holati parametrlari								
Тугун	U, kV		δ , rad		P, MVt		Q_7 , MVAR	
1	241.939		0.0112		-628.418		-180.000	
2	227.693		-0.2306		400.000		80.000	
3	225.232		-0.2735		600.000		200.000	
4	229.803		-0.1301		200.000		70.000	
5	233.360		-0.1995		500.000		-141.677	
6	241.730		-0.1705		-489.748		-200.000	
7	242.000		-0.2103		-297.057		-290.698	
8	230.000		0.0000		-365.327		171.083	
Umumiy to'la quvvat isrofi = 80.547 + j291.292 MVA								

4. Munozara (Discussion)

Ushbu ishda shakllantirilgan maqsadga muvofiq tarzda amalga oshirilgan tadqiqot ishlarining natijalari elektr energetika tizimlarining qisqa muddatli holatlarini rejalashtirishda dekompozitsiyalash orqali kompleks optimallashtirish masalasining taklif etilgan modeli va u asosida optimallashtirish algoritmi barcha chelkovchi va ta'sir etuvchi faktorlarni nisbatan katta aniqlikda e'tiborga olishini,



iterativ hisoblash jarayonini monoton va ishinchi bo'lishini ko'rsatadi.

Ko'rib chiqilgan elektr energetika tizimining holatini dekompozitsiyalash asosida kompleks optimallashtirish masalasini BEITda ishlab chiqilgan algoritm asosida yechishda umumiy shartli yoqilg'i sarfi 1962,26 t.sh.y./soat ni tashkil etgan bo'lsa, uni taklif etilgan matematik model va dekompozitsiyalash asosida optimallashtirish algoritmi yordamida yechish natijasida esa, 1962,72 t.sh.y./soatni tashkil etdi. Soatlik yoqilg'i sarfi bo'yicha iqtisod 2,54 t.sh.yo./soat yoki 0,13 % ni tashkil etdi. Shuningdek, ushbu holatlarda elektr tarmog'idagi aktiv quvvat isroflari mos holda 80,547 MVt va 78,995 MVt ni tashkil etib, u 1,552 MVtga yoki 2,3% ga kamayganligini ko'ramiz. Ushbu natijalar taklif etilgan model va algoritmining aniqligini nisbatan katta ekanligi va qo'shimcha iqtisodiy samara aynan shuning hisobiga ta'minlanligini ko'rsatadi.

Elektr energetika tizimlarining holatlarini dekompozitsiyalash orqali kompleks optimallashtirish bo'yicha taklif etilgan model va algoritm har qanday kattalikdagi elektr energetika tizimlari va elektr tarmoqlarining holatlarini rejalashtirish va boshqarish bilan shug'ullanuvchi dispetcherlik punktlarida foydalanish uchun tavsiya etiladi.

3- jadval. 8 tugunli EET holatini dekompozitsiyalash asosida taklif etilgan model va algoritm yordamida optimallashtirish natijalari.

Table 3. Optimization results using the proposed model and algorithm based on the decomposition of the 8-node EPS state.

the 8-node LPS state.

P_1 , MVt	P_6 , MVt	P_7 , MVt	P_8 , MVt	U_5 , kV	Q_5 , MVAR	U_7 , kV	Q_7 , MVAR	π , MVt
639,69	500,20	302,93	336,18	233,29	135,77	242,00	287,44	78,99
Umumiy shartli yoqilg'i sarfi = 1962,72 t.sh.y./s								
EETning barqarorlashgan holati parametrlari								
Тугун	U, kV		δ , rad		P, MVt		Q_7 , MVAR	
1	242.170		0.0175		-639.686		-180.000	
2	227.902		-0.2205		400.000		80.000	
3	225.375		-0.2628		600.000		200.000	
4	229.828		-0.1254		200.000		70.000	
5	233.288		-0.1926		500.000		-135.775	
6	241.863		-0.1604		-500.196		-200.000	
7	242.000		-0.1997		-302.930		-287.435	
8	230.000		0.0000		-336.183		168.112	
Umumiy to'la quvvat isrofi = 78.995 + j285.098 MVA								

5. Xulosa (Conclusion)

1. Elektr energetika tizimlarining holatlarini dekompozitsiyalash asosida kompleks optimallashtirish masalasining matematik modeli va uni yechish algoritmi cheklovchi va ta'sir eteuchi faktorlarni nisbatan katta aniqlikda etiborga olish hisobiga takomillashtirildi.

2. Elektr energetika tizimlarining qasqa muddatli holatlarini rejalashtirishda ularni dekompozitsiyalash asosida kompleks optimallashtirishni taklif etilgan model va algoritmi hisoblash aniqligining oshishi orqali solmoqli miqdordagi qo'shimcha iqtisodiy samara berishi aniqlandi. Ko'rib o'tilgan misollarda taklif etilgan algoritmining aniqligini oshishi hisobiga erishiluvchi iqtisodiy samara mavjud algoritmlardagiga nisbatan soatiga 2,54 t.sh.yo./soat yoki umumiy shartli yoqilg'i sarfiga nisbatan 0,13 % ni tashkil etdi.

ADABIYOT

1. Ю.Н. Руденко, В.А. Семенов. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике. –М.: Изд-во МЭИ, 2000.
2. Гаилов Т.Ш. Методы и алгоритмы оптимизации режимов электроэнергетических систем. –Т.: Ташкентский государственный технический университет, 2014.
3. Т. Гаилов, Б. Узаков, А. Шаназаров. Алгоритм оптимизации режима энергосистемы с учетом потерь в сетях и функциональных ограничений. / Материалы конференции AIP 2612, 050011 (2023) <https://doi.org/10.1063/5.0117667>.
4. Тулкин Гаилов. Оптимизация режимов энергосистем с учетом влияния электрических сетей. / Труды конференции AIP 2552, 040016 (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0130726>.
5. Т. Гаилов, Б. Пулатов, Ш. Латыпов. Метод выбора оптимального состава рабочих агрегатов электростанций с помощью генетического алгоритма. / Конференция AIP. Труды. 2612, 050012 (2023) <https://doi.org/10.1063/5.0118005>.
6. Фархат И.А. и Эль-Хавари Миссури. (2009). Методы оптимизации, применяемые для решения задачи краткосрочной гидротермальной координации. /Исследования электроэнергетических систем. 79. 1308-1320. DOI:10.1016/j.epsr.2009.04.001.

7. К. Карпентье: Оптимальные потоки мощности: использование, методы и разработки. / В сборнике трудов IFAC. 18(7), стр. 11-21 [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)60410-5](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)60410-5). (1985).
8. Уткарш Пандей, Аншумаан Патхак, Адеш Кумар, Сураджит Мондал, Применение искусственного интеллекта в эксплуатации, управлении и планировании энергосистем: обзор, //Чистая энергия, том 7, выпуск 6, декабрь 2023 г., страницы 1199–1218, <https://doi.org/10.1093/ce/zkad061> (обзор применения методов искусственного интеллекта в управлении и планировании ЭЭС).
9. Вильяррубия Г., Де Пас Хуан, Чамосо Пабло, Де Ла Приета Фернандо. (2017). Искусственные нейронные сети, используемые в задачах оптимизации. // Нейрокомпьютинг. 272. 10.1016/j.neucom.2017.04.075.
10. Б. Шоу, С. Гошал, В. Мукерджи, С.П. Гошал. Решение задач экономического распределения нагрузки с помощью нового алгоритма оптимизации искателя. // Международный журнал по электротехнике и информатике - Том 3, Номер 1, 2011. DOI:10.1016/j.eswa.2011.07.041.
11. Аль-Сумаит Дж.С., Сыкульски Дж.К., Аль-Осман А.К. Решение различных типов задач экономического распределения нагрузки с использованием метода поиска шаблонов. // Электроэнергетические компоненты и системы. 2008. 36(3). -С. 250-265. DOI:10.1080/15325000701603892.
12. Юрьевич Дж., Вонг К.П. Алгоритм оптимального потока мощности на основе эволюционного программирования. // Труды IEEE по энергосистемам. 1999. 14(4).
13. Гайибов Т., Пулатов Б., Турманова Г. Оптимальное планирование краткосрочных режимов гидротермальных энергосистем с использованием генетического алгоритма. / Труды конференции AIP 3152, 060014 (2024), <https://doi.org/10.1063/5.0218971>.
14. Алябышева Т.М., Моржин Ю.И., Протопопова Т.Н., Светков Е.В. О методах оптимизации режимов энергосистемы и энергоинтеграции. // Электрические станции. – Москва, 2005. – № 1 – С. 44-49.
15. Баринов В.А., Мамиконянц Л.Г., Строев В.А. Разработка математических моделей и методов решения задач управления режимами работы и развития энергосистем // Электричество. – Москва, 2005. – № 7. – С. 8-21.
16. Тулкин Гаибов, Алишер Шаназаров. Алгоритм комплексной оптимизации режимов электрических сетей. // УЗБЕКГИДРОЭНЕРГЕТИКА. – Ташкент, 2021. № 2. –С. 55-57.
17. Насиров Т.Х., Бердияров У.Н. Комплексная оптимизация режимов энергосистемы. // «ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ФОКУС» - <https://doi.org/10.5281/zenodo.8377339>.
18. Гаибов Т.Ш., Шаназаров А.Э. Алгоритм комплексной оптимизации кратковременных режимов электроэнергетических систем //Международный журнал перспективных исследований в области науки, техники и технологий. Том 11, выпуск 3, 2024. - С. 21524-21530.
19. Гаибов Т.Ш., Шаназаров А.Э. Оптимизация режимов работы энергосистем на основе использования искусственных нейронных сетей. // Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2024, выпуск 4, -С.18-28.

REFERENCES

1. Yu.N. Rudenko and V.A. Semenova. Automation of dispatch control in the electric power industry // Under total. ed. -M.: Publishing house of MEI, 2000. (In Russian).
2. Gayibov T.Sh. Methods and algorithms for optimizing the modes of electric power systems. // T.: Ed. Tashkent State Technical University, 2014.4. (In Russian).
3. T. Gayibov, B. Uzakov, A. Shanazarov. Algorithm of power system mode optimization taking into account losses in networks and functional constraints. //AIP Conference Proceedings 2612, 050011 (2023) <https://doi.org/10.1063/5.0117667>.
4. Tulkin Gayibov. Optimization of power systems modes taking into account the influence of electrical networks. //AIP Conference Proceedings 2552, 040016 (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0130726>.
5. T. Gayibov, B. Pulatov, Sh. Latipov. Method for selection of optimal composition of operating units in power plants by genetic algorithm. //AIP Conf. Proceedings. 2612, 050012 (2023) <https://doi.org/10.1063/5.0118005>.
6. Farhat, I.A. & El-Hawary, Mo. (2009). Optimization methods applied for solving the short-term hydrothermal coordination problem. //Electric Power Systems Research. 79. 1308-1320. DOI:10.1016/j.epsr.2009.04.001.
7. C. Carpentier: Optimal Power Flows: Uses, Methods and Developments. // In: IFAC Proceedings Volumes. 18(7), pp. 11-21 [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)60410-5](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)60410-5). (1985).
8. Utkarsh Pandey, Anshumaan Pathak, Adesh Kumar, Surajit Mondal, Applications of artificial intelligence in power system operation, control and planning: a review, // Clean Energy, Volume 7,



Issue 6, December 2023, Pages 1199–1218, <https://doi.org/10.1093/ce/zkad061> EES.

9. Villarrubia, G. & De Paz, Juan & Chamoso, Pablo & De La Prieta, Fernando. (2017). Artificial neural networks used in optimization problems. // *Neurocomputing*. 272. 10.1016/j.neucom.2017.04.075.

10. B. Shaw, S. Ghoshal, V. Mukherjee, and S. P. Ghoshal. Solution of Economic Load Dispatch Problems by a Novel Seeker Optimization Algorithm. // *International Journal on Electrical Engineering and Informatics* - Volume 3, Number 1, 2011. DOI:10.1016/j.eswa.2011.07.041.

11. Al-Sumait J S, Sykulski J K and Al-Othman A K. 2008. Solution of Different Types of Economic Load Dispatch Problems Using a Pattern Search Method. // *Electric Power Components and Systems* 36(3). no. 250-265. DOI:10.1080/15325000701603892.

12. Yuryevich J, Wong K P. 1999. Evolutionary Programming Based Optimal Power Flow Algorithm. // *IEEE Transactions on Power Systems* 14(4).

13. Gayibov, T., Pulatov, B., Turmanova, G. Optimal Planning of Short-Term Modes of Hydrothermal Power Systems by Genetic Algorithm. // *AIP Conference Proceedings* 3152, 060014 (2024), <https://doi.org/10.1063/5.0218971>.

14. Alyabisheva T.M., Morzhin Yu.I., Protopopova T.N., Svetkov Ye.V. The method of optimization of energy systems and energy systems. // *Electric station*. - Moscow, 2005. - No. 1 - P. 44-49.

15. Barinov V.A., Mamikonyans L.G., Stroyev V.A. The development of mathematical models and methods for the solution of problems of the control regime and the development of the energy system // *Elektrichestvo*. - Moscow, 2005. - #7. - S. 8-21.

16. Tulkin Gayibov, Alisher Shanazarov. Algorithm of complex optimization of regimes of electric networks. // *UZBEKHYDROENERGY*. - Tashkent, 2021. #2. -P. 55-57.

17. Nasirov T.Kh., Berdiyarov U.N. Kompleksnoy optimization of regimes of electroenergetic system. // "RESEARCH FOCUS" - <https://doi.org/10.5281/zenodo.8377339>.

18. Gayibov T.Sh., Shanazarov A.E. Algorithm for Complex Optimization of Short-term Modes of Electric Power Systems // *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. Volume 11, Issue 3, 2024. -pp.21524-21530.

19. Gayibov T.Sh., Shanazarov A.E. Optimization of operational operating conditions of power systems based on the use of artificial neural networks // *Problems of Energy and Sources Saving*, 2024, issue 4, -P.18-28.