



Elektr energetika tizimlari holatlarini evristik usullar yordamida optimallashtirish

Tulkin Sh. Gayibov¹, Alisher E. Shanazarov^{1,a)}, Afzalbek T. Bozorov^{1,b)}

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>

^{1,b)} assistent., Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; afzalbozorov8@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-7581-7170>

Dolzarblik: bugungi kunda elektr energiyasiga bo'lgan talabning o'sishi, tabiiy resurslarning keskin kamayib borayotganligi va ekologik muammolarning tobora dolzarb tus olayotganligi energetika tizimlariga qayta tiklanuvchan energiya manbalarida ishlovchi stansiyalarni keng joriy etish, ularning ish holatlarini rejalashtirish va boshqarishda barcha mezonlar bo'yicha maksimal samarani ta'minlash shartlaridan kelib chiqishni talab etilmoqda. Hozirgi davrgacha ko'plab elektr energetika tizimlari (EET)ning ish holatlarini optimallashtirishda an'anaviy usullar qatorida asosan gradient va nisbiy o'sishlarning tengligi usullaridan keng foydalanib kelinmoqda. Shu bilan bir qatorda hozirgi davrda texnikaning ayrim sohalarida murakkab optimallashtirish masalalarini yechishda bir qator evristik algoritmlarini qo'llashga oid ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bunday usullarda an'anaviy usullardan farqli holda maqsad funksiyasi va funksional chegaraviy shartlarning uzluksizligi, masalaning bitta ekstremumga ega bo'lishi kabi cheklovchi talablarning bo'lmazligi optimallashtirish aniqqligini oshirish orqali qo'shimcha samarani berish imkoniyatlarni ta'minlaydi. Shu sababli, ulardan elektr energetika tizimlarining holatlarini optimallashtirishda foydalanish imkoniyatlarini o'rganish va tadqiq qilish muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu maqolada evristik usullardan zarrachalar to'dasi optimizatsiyasi (PSO – Particle Swarm Optimization) algoritmlarini EET holatlarini optimallashtirish masalalarini echishda qo'llash imkoniyatlarining tadqiqi natijalari keltirilgan va ulardan zamonaviy murakkab EET holatlarini optimallashtirishda samarali foydalanish mumkin ekanligi ko'rsatilgan.

Maqsad: EET holatlarini optimallashtirishda PSO (particle swarm optimization) algoritmlarining samaradorligini tadqiq qilish, ularning afzalliklarini aniqlash va amaliy qo'llanilish imkoniyatlarini baholashdan iborat.

Usullar: tadqiqotda an'anaviy nisbiy o'sishlarning tenglik usuli hamda evristik usullardan PSO (zarrachalar to'dasi optimizatsiyasi) algoritmlari. MATLAB dasturiy tizimidan foydalanilib, olingan natijalar aniqlik va samaradorlik bo'yicha taqqoslanib, tahlil qilindi.

Natijalar: ko'rib o'tilgan evristik optimallashtirish usullaridan murakkab EET holatlarini rejalashtirish va boshqarish masalalarini echishda samarali foydalanish mumkin ekanligi ko'rsatilgan.

Kalit so'zlar: elektr energetika tizimlari (EET), optimallashtirish, evristik usullar, nisbiy o'sishlar tengligi usuli, PSO (particle swarm optimization), maqsad funksiyasi, chegaraviy shartlar.

Оптимизация режимов электроэнергетических систем эвристическими методами

Тулкин Ш. Гайибов¹, Алишер Э. Шаназаров^{1,a)}, Афзалбек Т. Бозоров^{1,b)}

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

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

^{1,b)} ассистент, Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент, 100095, Узбекистан; afzalbozorov8@gmail.com <https://orcid.org/0009-0003-7581-7170>

Актуальность: сегодня растущий спрос на электроэнергию, резкое сокращение природных ресурсов, обострившиеся экологические проблемы требуют повсеместного внедрения в энергосистемы установок возобновляемой энергетики, планирования и управления их работой из условий обеспечения максимальной эффективности по всем критериям. До сих пор среди традиционных методов оптимизации режимов работы многих электроэнергетических систем (ЭЭС) широкое распространение получили градиентные методы и методы относительного равенства коэффициентов усиления. В то же время в настоящее время ведутся исследования по использованию ряда эвристических алгоритмов при решении сложных задач оптимизации в отдельных областях техники. В таких методах, в отличие от традиционных методов, отсутствие ограничительных требований, таких как непрерывность целевой функции и функциональных граничных условий, а также наличие единственного экстремума в задаче, даёт возможности для дополнительной эффективности за счёт повышения точности оптимизации. Поэтому актуальным является изучение и исследование возможностей их использования для оптимизации состояния энергосистем. В статье представлены результаты исследования возможностей использования эвристических методов, таких как алгоритмы Particle Swarm Optimization (PSO), при решении задач оптимизации состояний электроэнергетических

For citation: Gayibov T.Sh., Shanazarov A.E., Bozorov A.T. Optimization of Electric Power Systems States by Heuristic Methods. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 1, pp. 123-130.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.15099933>

Received: 14.01.2025
Revised: 7.02.2025
Accepted: 18.03.2025
Published: 25.03.2025

Copyright: © Tulkin Sh. Gayibov, Alisher E. Shanazarov, Afzalbek T. Bozorov, 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/>)



систем и показано, что они могут эффективно использоваться при оптимизации состояний современных сложных электроэнергетических систем.

Цель: исследование эффективности алгоритмов PSO при оптимизации состояний ЭЭС, выявление их преимуществ и оценка возможностей практического применения.

Методы: в исследовании использованы традиционный метод относительного равенства роста и эвристические методы, такие как алгоритмы PSO. С помощью программного пакета MATLAB проведено сравнение и анализ результатов на точность и эффективность.

Результаты: рассмотренные эвристические методы оптимизации могут эффективно использоваться для решения задач планирования и управления состояниями сложных энергосистем.

Ключевые слова: электроэнергетические системы (ЭЭС), оптимизация, эвристические методы, метод относительного равенства роста, PSO (оптимизация роя частиц), целевая функция, граничные условия.

Optimization of Electric Power Systems States by Heuristic Methods

Tulkin Sh. Gayibov¹, Alisher E. Shanazarov^{1,a)}, Afzalbek T. Bozorov^{1,b)}

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, Tashkent, 100095, Uzbekistan:alisher.shanazarov90@mail.ru;
<https://orcid.org/0009-0009-4757-0928>

^{1, b)} Assistant teacher, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; afzalbozorov8@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-7581-7170>

Relevance: today, the growing demand for electricity, a sharp reduction in natural resources, and an increasingly acute nature of environmental problems require the widespread introduction of renewable energy installations into power systems, planning and managing their operation based on the conditions of ensuring maximum efficiency by all criteria. Until now, among the traditional methods for optimizing the operating conditions of many electric power systems (EPS), the gradient and relative equality of gain methods have been widely used. At the same time, studies are currently underway on the use of a number of heuristic algorithms in solving complex optimization problems in certain areas of technology. In such methods, in contrast to traditional methods, the absence of restrictive requirements such as the continuity of the objective function and functional boundary conditions, as well as the presence of a single extremum in the problem, provides opportunities for additional efficiency due to increased optimization accuracy. Therefore, it is important to study and explore the possibilities of their use for optimizing the state of power systems. The article presents the results of a study of the possibilities of using heuristic methods, such as Particle Swarm Optimization (PSO) algorithms, in solving problems of optimizing the states of power systems and shows that they can be effectively used in optimizing the states of modern complex power systems.

Goal: to study the efficiency of PSO (particle swarm optimization) algorithms in optimizing the states of power systems, to identify their advantages and to evaluate the possibilities of practical application.

Methods: the study uses the traditional relative growth equality method and heuristic methods, such as PSO (particle swarm optimization) algorithms. Using the MATLAB software package, the results were compared and analyzed for accuracy and efficiency.

Results: the considered heuristic optimization methods can be effectively used to solve problems of planning and managing the states of complex power systems.

Keywords: electric power systems (EPS), optimization, heuristic methods, relative growth equality method, PSO (particle swarm optimization), objective function, boundary conditions.

1. Kirish (Introduction)

EET holatlarini optimallashtirish masalasini echishning asosiy maqsadi ularni holatlarini rejalashtirish va boshqarishda elektr energiyani ishlab chiqarish, uzatish va taqsimlash jarayonida ishonchlilik, sifatlilik va atrof-muhit muhofazasi bo'yicha meyoriy talablarga muvofiq cheklovlarni saqlagan holda eng kam xarajatni talab etuvchi ish rejimlarini aniqlashdan iborat. Ushbu masalani yechishda bugungi kunda ko'plab energetika tizimlarida gradient, nisbiy o'sishlarning tengligi kabi usullardan keng foydalanib kelinmoqda. Boshqa ana'anaviy usullar bilan solishtirilganda ular uchun bir qator afzalliklar qatorida ayrim kamchiliklar ham xarakterli sanaladi. Jumladan, maqsad funksiyasi va chegaraviy shartlarda funksiyalarning uzluksiz, masalaning bir ekstremumli bo'lishiga qo'yilgan talablar haqiqiy funksiyalarni approksimatsiyalash va qo'shimcha cheklovlarni kiritish hisobiga aniqlikning pasayishi va bunga mos holda optimallashtirishda erishiluvchi samaradorlikning kamayishiga olib keladi [1, 14-17]. Ushbu kamchiliklar EETning holatlarini optimallashtirish masalasini katta aniqlikda va tezlikda yechish topish imkoniyatlarini cheklaydi.

Boshqa tomondan, bugungi kunda texnikaning ayrim sohalaridagi singari energetika tizimlarini boshqarish masalalarini hal etishda ham bir qator sun'iy intellekt va evristik usullardan foydalanish imkoniyatlari tadqiq qilinmoqda [2-13, 18, 19]. Ushbu usullar o'ziga xos xususiyatlarga ega bo'lib, jumladan ularning ko'pchiligi an'anaviy usullar uchun xarakterli



bo'lgan yuqorida qayd etilgan kamchiliklardan holi sanaladi. Shu sababli, bir qator mavjud ishlarda bunday usullardan genetik va evolyutsion algoritmlaridan foydalanish imkoniyatlari tadqiq qilib, ulardan samarali foydalanish bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqilgan [5-7, 13, 18, 19]. Shunga qaramasdan, EET holatlarini rejalashtirish va boshqarish masalalarini yechishda ayrim evristik usullardan foydalanish imkoniyatlarini tadqiq qilish asosida samarali algoritmlarni yaratish yo'nalishidagi tadqiqotlar dolzarbligicha qolmoqda[13].

Ushbu maqolada zarrachalar to'dasi optimizatsiyasi (PSO – Particle Swarm Optimization) va usuli asosida EET holatlarini optimallashtirish masalalarini yechish imkoniyatlari tadqiq qilingan. Mos optimallashtirish algoritmlari keltirilib, ularning samaradorligi an'anaviy nisbiy o'sishlarning tengligi usuli bilan solishtirish asosida baholangan. Zamonaviy murakkab EET holatlarini optimallashtirishda ulardan samarali foydalanish mumkin ekanligi ko'rsatilgan.

2. Materiallar va usullar (Methods and materials)

Har qanday vaqt intervali uchun elektr energetika tizimi holatini optimallashtirish masalasini quyidagicha ifodalash mumkin:

Issiqlik elektr stansiyalarining ulardagi umumiy yoqilg'i sarfi bilan bog'liq bo'lgan xarajatlar funksiyasi:

$$B = \sum_{i \in T} B_i(P_i) \rightarrow \min \quad (1)$$

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

$$W_i' = P_i - \bar{P}_i = 0, \quad i \in \Gamma + H, \quad (2)$$

$$W_i'' = Q_i - \bar{Q}_i = 0, \quad i \in \Gamma_1 + H; \quad (3)$$

barcha tugunlardagi ruxsat etilgan minimal va maksimal kuchlanish, optimallashtirishda ishtirok etuvchi IESning aktiv va reaktiv quvvatlari, kompensatorlarning reaktiv quvvatlari, rostlanuvchan transformatorlarning transformatsiya koeffitsiyentlarining haqiqiy va mavhum qismlarini ruxsat etilgan minimal va maksimal chegaraviy qiymatlari bo'yicha chegaraviy shartlar:

$$U_i^{\min} \leq U_i \leq U_i^{\max}, \quad i \in \Gamma + H, \quad (4)$$

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}, \quad i \in T, \quad (5)$$

$$Q_i^{\min} \leq Q_i \leq Q_i^{\max}, \quad i \in \Gamma - \Gamma_1; \quad (6)$$

ni hisobga olib minimal bo'lishini ta'minlovchi optimal qiymatlarini topish talab etiladi.

Bu yerda T - optimallashtirishda qatnashuvchi IESlar to'plami; G – generatsiyalovchi tugunlar to'plami; G_1 – reaktiv quvvat i rostlanuvchan generatsiyalovchi tugunlar to'plami (hisobiy elektr stansiyalaridan tashqari); $U_i, P_i, Q_i, P_i^{\min}, Q_i^{\min}, U_i^{\min}, P_i^{\max}, Q_i^{\max}, U_i^{\max}$ - i - chi tugunning rostlash hisobiy va berilgan chegaraviy aktiv va reaktiv quvvatlari hamda kuchlanishlari.

Qo'yilgan masalani bugungi kunda keng tarqalgan nisbiy o'sishlar tengligi usulida yechish algoritmini ko'rib chiqamiz. Unga ko'ra funksional chegaraviy shartlarni jarima funksiyasi yordamida hisobga olib, hosil bo'luvchi umumlashgan maqsad funksiyasi ekstremumining zaruriy shartidan foydalanilib, masala IESlarning quyidagi shart ta'minlanuvchi quvvatlarini topishga keltiriladi [1]:

$$\begin{aligned} b_1(P_1) + u_1(P_1) &= b_2(P_2) + u_2(P_2) = \dots = b_n(P_n) + u_n(P_n), \\ P_1 + P_2 + \dots + P_n &= P_n, \end{aligned} \quad (7)$$

bu yerda $P_1, P_2, \dots, P_n$ – IESlarning optimallashtiriluvchi aktiv quvvatlari; $b_1, b_2, \dots, b_n$ – IESlarda yoqilg'i sarfi bilan bog'liq xarajatlarning nisbiy o'sishlari; P_n – EETning umumiy aktiv yuklamasi.

Oxirgi shartlardan i chi stansiyaning quvvatiga chegaraviy shartning ta'siri uning nisbiy o'sish xarakteristikasini yuqoriga yoki pastga surish orqali hisobga olinishi kelib chiqadi. Demak hisoblash jarayoni ketma-ket yaqinlashish tartibida amalga oshirilib, uning har bir qadamida:

- har bir stansiya uchun maqsad funksiyasi (1) ning hosilasi hisoblanadi;
- stansiyalarning nisbiy o'sish xarakteristikalariga jarima funksiyasining mos hosilalarini qo'shish orqali ular qayta quriladi[12];
- energetika tizimining yuklamasini stansiyalari o'rtasida (7) shart bo'yicha optimal taqsimlash natijasida ularning yangi qadamdagi quvvatlari topiladi. Ushbu tartibdagi hisoblash jarayoni barcha funksional chegaraviy shartlar bajarilguncha davom ettiriladi.

Ushbu usulda foydalanish uchun tavsiya etilgan kvadrat ko'rinishdagi maqsad funksiyasi tenglik ko'rinishidagi chegaraviy shartlarni hisobga olish uchun mo'ljallangan. Chunki, u chegaralanuvchi funksiya o'zining chegaraviy qiymatiga teng bo'lgandagina nolga tengdir. Shu sababli u yordamida tengsizlik ko'rinishidagi chegaraviy shartni hisobga olish uchun har bir

qadamdan so'ng chegaraviy shartning bajarilishi tekshirib ko'riladi. Agar bunda chegaraviy shart bajarilsa, navbatdagi qadam bu chegaraviy shartni hisobga olmasdan, agar u bajarilmasa, hisobga olib amalga oshiriladi [4].

Shunday qilib, an'anaviy usullar uchun yuqorida bayon etilgan kamchiliklar bilan bir qatorda tengsizlik ko'rinishidagi funksional chegaraviy shartlarni hisobga olish bilan bog'liq kamchiliklar ham xarakterlidir.

Taklif etilayotgan evristik usullardan biri bo'lgan PSO algoritmi yordamida EET holatlarini optimallashtirish masalasini ko'rib chiqamiz:

PSO — bu evristik optimallashtirish algoritmi bo'lib, unda jonzoqlar galasining tabiiy harakatlari modellashirilgan. Bu algoritim 1995-yilda Kennedy va Eberhart tomonidan taklif qilingan bo'lib, u ko'plab muammolarni optimal yechimini topishda qo'llaniladi [2, 9]. Asosiy g'oya — zarrachalardan iborat gala muhitni o'rganib, eng yaxshi natijani topish uchun birgalikda harakat qiladi. PSO asosan hayvonlar, masalan, qushlar suruvi yoki baliqlar to'dasining birgalikda ovqat izlash strategiyasi asosida ishlaydi. Har bir zarra ruxsat etilgan soha ichida ko'chganidan keyin o'zining joriy eng yaxshi holatini boshqa qo'shni zarra yoki to'dadagi bir nechta zarralarga bildiradi. Buning natijasida zarra o'zining navbatdagi optimal qadamini har bir zarraning bungacha bo'lib o'tgan yo'lidan foydalanish asosida aniqlaydi. Shu tariqa barcha zarralar o'zlarining joriy holatlarini yangilaganlaridan so'ng optimal natijani qidirishning navbatdagi iteratsiyasi optimalga yaqinroq bo'lgan sohani o'zlashtirish asosida amalga oshiriladi. Ushbu jarayonning davom etishi bilan barcha zarralarning galasi maqsad funksiyasining optimumiga yaqinlashib boradi. Ushbu algoritim bo'yicha bevosita bajariluvchi amallar ketma-ketligi bilan quyidagi funksiyani noma'lum $x_1, x_2, \dots, x_n$ lar bo'yicha ularning minimal va maksimal ruxsat etilgan qiymatlari bilan chegaralangan soha ichida minimallashtirish misolida tanishamiz [11]:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min; \quad (8)$$

$$x_{j,\min} \leq x_j \leq x_{j,\max}, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

Ushbu holatda galadagi har bir i zarra n o'lchamli bo'lib, uning holati noma'lum $x_1, x_2, \dots, x_n$ larning mos qiymatlari bilan belgilanadi.

1) Zarralarning boshlang'ich holatlarini qabul qilish. Galaning o'lchami (zarralar soni) m va undagi har bir zarra i uchun noma'lumlarning boshlang'ich qiymatlari $x_{ij}^{(0)}$, $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$ (2) bilan belgilanuvchi ruxsat etilgan sohada qabul qilinadi.

2) Tezlik (qadam)ni aniqlash. Har bir zarra optimal joyni qidirib, ruxsat etilgan soha ichida qandaydir tezlik (ya'ni qadam) bilan harakat qiladi. Bunday tezlik (qadam)ning qiymati har bir zarra (uning tashkil etuvchilari) uchun shart (2) buzilmaydigan qilib tasodifiy tanlanadi [8]: $v_{ij}^{(0)}$, $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$.

3) Yaroqlilikni tekshirish. Zarralarning oldingi $t-1$ -chi iteratsiyadagi (birinchi iteratsiyani bajarishda esa, qabul qilingan boshlang'ich) holatlari (noma'lumlarning qiymatlari)da maqsad funksiyasining mos qiymatlari $F_{ij}^{(t-1)} = F(x_{ij}^{(t-1)})$ ni hisoblash orqali har bir zarraning individual eng yaxshi holati $F_{ij.Pbest}^{(t-1)} = F(x_{ij.Pbest}^{(t-1)})$ so'ngra barcha zarralarning individual eng yaxshi holatlari orasidan global eng yaxshi holat $F_{j.Gbest}^{(0)} = F(x_{j.Gbest}^{(0)})$ aniqlanadi [3].

4) Tezlikni yangilash va zarralarning yangi holatini aniqlash. Har qanday navbatdagi iteratsiyada zarralarning yangi holatlari (ya'ni noma'lumlarning navbatdagi iteratsiyadagi qiymatlari) quyidagicha hisoblanadi:

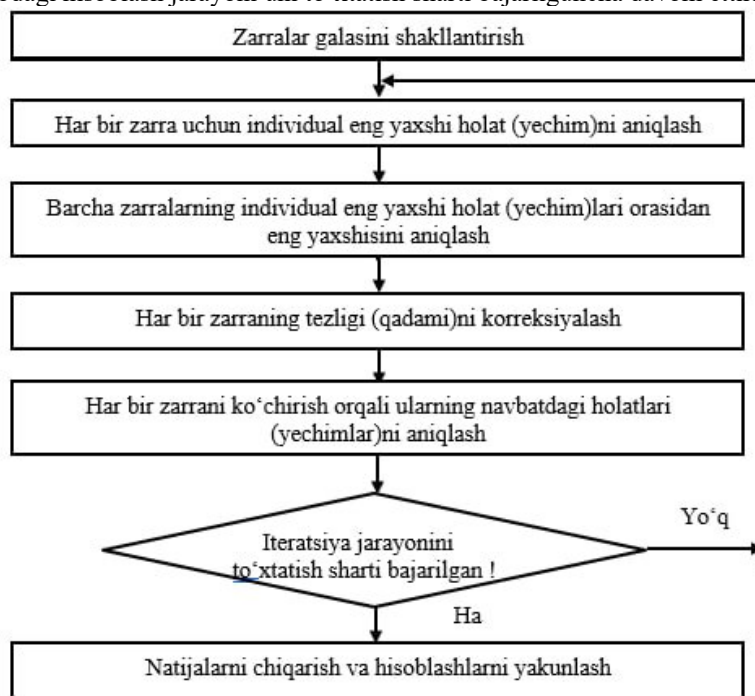
$$x_{ij}^{(t)} = x_{ij}^{(t-1)} + v_{ij}^{(t)}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Bunda tezlikning ushbu iteratsiyadagi yangi qiymatlari quyidagicha topiladi:

$$v_{ij}^{(t)} = \omega v_{ij}^{(t-1)} + c_1 r_{1ij}^{(t)} \cdot (x_{ij.best}^{(t-1)} - x_{ij}^{(t-1)}) + c_2 r_{2ij}^{(t)} \cdot (x_{j.Gbest}^{(t-1)} - x_{ij}^{(t-1)}), \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n;$$

bu yerda $\omega v_{ij}^{(t-1)}$ - inertsion tashkil etuvchi (shuningdek, ba'zan uchish yo'nalishi) deb yuritilib, u zarraning yo'nalishini keskin o'zgarishini bartaraf etib, oldingi uchish yo'nalishlaridan foydalangan holda zarraga mos impuls berilishini ta'minlaydi; ω - inersiya yuki bo'lib, uning qiymati 0,5-1 oralig'ida qabul qilinadi; $c_1 r_{1ij}^{(t)} \cdot (x_{ij.best}^{(t-1)} - x_{ij}^{(t-1)})$ - kognitiv tashkil etuvchi bo'lib, u zarraning bundan oldingi individual eng yaxshi holati haqida xotirani belgilaydi; $c_2 r_{2ij}^{(t)} \cdot (x_{j.Gbest}^{(t-1)} - x_{ij}^{(t-1)})$ - sotsial tashkil etuvchi bo'lib, u bundan oldingi global eng yaxshi holat bilan bog'liq joriy unumdorlikni belgilaydi; c_1, c_2 – musbat sonlar bo'lib, ular individual eng yaxshi holat va global eng yaxshi holat yo'nalishida yaqinlashishni tezlashtiruvchi koeffitsiyentlardir; $r_{1ij}^{(t)}, r_{2ij}^{(t)}$ - oraliq 0-1 da bir tekis taqsimlangan tasodifiy sonlar bo'lib, ular galaning turli tumanligini tasdiqlash uchun kiritiladi [5].

Ushbu tartibdagi hisoblash jarayoni uni to'xtatish sharti bajarilguncha davom ettiriladi.



1-rasm. PSO optimallashtirish algoritmining yiriklashtirilgan blok-sxemasi

Fig.1. An enlarged block diagram of the PSO optimization algorithm

Ushbu shart bajarilmaganda har bir navbatdagi iteratsiya 3- punktdan boshlab amalga oshiriladi. Iterativ hisoblash jarayonini to'xtatish sharti sifatida iteratsiyalarning belgilangan soni yoki maqsad funksiyasi qiymatining o'zgarishini sekinlashuvi qabul qilinishi mumkin.

3. Natijalar (Results)

Elektr energetika tizimlarining holatlarini PSO algoritmi asosida optimallashtirish masalasining keltirilgan modeli va u asosda yechish algoritmining samaradorligi sxemasi 2-rasmda keltirilgan EET holatini optimallashtirish misolida tadqiq qilindi.

0, 1, 6, 7 tugunlardagi IESlar joylashgan bo'lib, ular quyidagicha kvadratik shartli yoqilg'i sarfi xarakteristikalariga ega (t.sh.yo./soat):

$$B_1 = 4,7 + 0,304P_1 + 0,00067P_1^2;$$

$$B_6 = 4,83 + 0,296P_6 + 0,00079P_6^2;$$

$$B_7 = 6,34 + 0,3P_7 + 0,00022P_7^2;$$

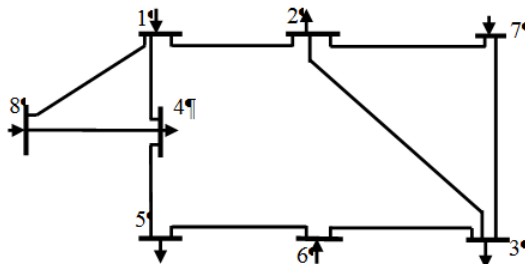
$$B_8 = 4,67 + 0,292P_8 + 0,00065P_8^2;$$

Barcha IESlarning quvvatlari quyidagi diapazonda o'zgarishi mumkin:

$$50 \text{ MVt} \leq P_i \leq 250 \text{ MVt}.$$

2, 3, 4, 5- tugunlar yuklama tugunlari bo'lib, ularning quvvatlari quyidagicha:

$$P_2=100 \text{ MVt}, P_3=120 \text{ MVt}, P_4=95 \text{ MVt}, P_5=105 \text{ MVt}.$$



2-rasm. 8 ta tugunli test sxema

Fig.2. 8-node test circuit

Yuqoridagi 8 tugunli test sxemasi uchun EET holatlarini optimallashtirishning samaradorligini solishtirish asosida baholash uchun avvalo ko'rilayotgan masalani an'anaviy nisbiy o'sishlar tengligi usulida yechish orqali natija hosil qilindi (1- jadval).



1-jadval. EETning holatini nisbiy o'sishlarning tengligi usulida optimallashtirish natijalari.

Table 1. Results of optimization of the state of EPS by the method of equality of relative growths

IES, i	P_I, MVt	$B, \text{t.sh.yo./soat}$
1	66.95	28.0559
6	61.84	25.705
7	212.97	80.209
8	78.24	31.495
Jami	420	165.4649

PSO algoritmi yordamida olingan natijalar 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval. EETning holatini PSO algoritmi usullarida optimallashtirish natijalari

Table 2. Results of optimizing the state of EPS using PSO algorithm methods

IES, i	P_I, MVt	$B, \text{t.sh.yo./soat}$
1	66.947	28.0547
6	61.841	25.706
7	212.974	80.210
8	78.238	31.494
Jami	420	165.4647

1- va 2- jadvallarda keltirilgan natijalarni solishtirish asosida ularning bir xil ekanligini ko'ramiz. Bu ko'rib o'tilgan PSO algoritmining katta aniqlikka ega ekanligini ko'rsatadi. Olingan natijalar ushbu algoritmnining ko'p ekstremumli uzlukli funksiyalarga ega optimallashtirish masalalarini cheklovchi faktorlarni hisobga olib, samarali yechish imkoniga ega ekanligini isbotlaydi.

4. Munozara (Discussion)

Ushbu tadqiqotda EET holatlarini optimallashtirish uchun an'anaviy nisbiy o'sishlar tengligi usuli va zamonaviy zarrachalar to'dasi optimizatsiyasi (PSO – Particle Swarm Optimization) algoritmlarining qiyosiy tahlili o'rganildi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, har bir usulning o'ziga xos afzalliklari va kamchiliklari mavjud bo'lib, ular EET holatlarini optimallashtirishda qo'llaniladigan muayyan sharoit va talablarga bog'liq. An'anaviy nisbiy o'sishlar tengligi usulida umumiy yoqilg'i sarfi 165.4649 t.sh.yo./soat ni tashkil etdi. Uning asosiy kamchiligi funksional chegaraviy shartlarni hisobga olishning qiyinchiligi va ko'p parametrlilik, murakkab masalalarda global optimal yechimni topish imkoniyatining cheklanganligidir. Bu usul asosan EET holatlarini taxminiy yechim bilan tahlil qilishda ishlatiladi va real sharoitlarda ishlashda aniqlik hamda samaradorlik bo'yicha cheklovlarga ega [11].

Taklif etilayotgan PSO algoritmda hisoblash jarayoni sodda bo'lib, umumiy yoqilg'i sarfi 165,4647 t.sh.yo./soat ni tashkil etdi. Inersiya koeffitsiyenti va boshqa parametrlarning moslashuvchan boshqaruvi PSO algoritmining samaradorligini oshiradi. Ushbu algoritim EET holatlarini optimallashtirishda lokal minimumga tushib qolmaslik xususiyatiga ega bo'lib, bu uni ko'p parametrlilik va murakkab tizimlar uchun juda mos qiladi. Shunga qaramay, bu algoritmnining moslashuvchanligi va barqarorligi uni EETning qisqa va uzoq muddatli holatlarini optimallashtirish masalalari yechishda samarali qo'llash imkonini beradi. Shuningdek, ushbu algoritmlar parametrlarini ratsional tanlash va ularni muayyan EET masalalariga moslashtirish optimallashtirish jarayonining samaradorligini sezilarli darajada oshirishi mumkin. Inersiya koeffitsiyenti, o'zgarish koeffitsiyenti va iteratsiyalar sonini ratsional tanlash optimallashtirish samaradorligini yanada oshirishga xizmat qiladi. Kelgusida ushbu evristik algoritmlarni amaliyotda qo'llash va ularning kombinatsiyasini tadqiq qilish elektr energetika tizimlarini holatini optimallashtirishda muhim istiqbollarni ochib beradi.

5. Xulosa (Conclusion)

1. Elektr energetika tizimlarining holatlarini evristik usullardan zarrachalar to'dasi optimizatsiyasi (PSO) usuli asosida optimallashtirish algoritmlari keltirildi va ularning samaradorligi tadqiq qilindi.

2. EET holatlarini PSO evristik usuli asosida optimallashtirish algoritmlarining samaradorligini



tadqiq qilish orqali ularda an'anaviy usullar uchun xarakterli bo'lgan bir qator kamchiliklar bartaraf etilishi ko'rsatildi.

3. PSO usuli asosida optimallashtirish algoritmlari murakkab EET hollatlarini har xil chegaraviy shartlarni hisobga olib rejalashtirish va boshqarishda foydalanilishi mumkin ekanligi ko'rsatildi.

ADABIYOT

1. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Установившиеся режимы работы электроэнергетических систем и их оптимизация. // Ташкент: Финансы, 1999. – 370 с.
2. Дж. Кеннеди, Р. Эберхарт. Оптимизация роя частиц для повышения устойчивости энергосистемы - // IEEE Transactions on Power Systems-2005, ieeexplore.ieee.org.
3. Ю. Чжан, Х. Ли. Сравнительное исследование оптимизации роя частиц и дифференциальной эволюции энергетических систем // Energy Conversion and Control-2010, elsevier.com.
4. М. Сингх, Р. Шарма. Гибридный алгоритм PSO-GA для автоматического управления генерацией, //Международный журнал по электроэнергетике и энергетическим системам-2016, sciencedirect.com.
5. Т. Гаиров, Б. Пулатов, Ш. Латыпов. Метод выбора оптимального состава действующих энергоблоков электростанции с использованием генетического алгоритма. / Труды конференции АИП. 2612, 050012 (2023) <https://doi.org/10.1063/5.0118005>.
6. А. Бхаттачарья, П. Чаттопадхьяй. Дифференциальная эволюция для задач оптимального потока мощности, // Прикладные мягкие вычисления-2009, sciencedirect.com.
7. К. Карпентье: Оптимальные потоки мощности: использование, методы и разработки. /В: Сборнике трудов МФСА. 18(7), с. 11-21 [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)60410-5](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)60410-5). (1985).
8. Уткаш Пандей, Аншумаан Патхак, АДеш Кумар, Сураджит Мондал, Применение искусственного интеллекта в эксплуатации, управлении и планировании энергосистем: обзор, //Clean Energy, том 7, выпуск 6, декабрь 2023 г., страницы 1199–1218, <https://doi.org/10.1093/ce/zkad061> (обзор применения методов искусственного интеллекта в эксплуатации и планировании ЭЭС).
9. Вильяррубия Г., Д.Е. Пас Хуан, Чамосо Пабло, Д.Е. 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 и С.П. Гошал. Решение задач экономического распределения нагрузки с использованием нового алгоритма поисковой оптимизации. //Международный журнал электротехники и компьютерных наук - Том 3, Номер 1, 2011. DOI:10.1016/j.eswa.2011.07.041.
11. Аль-Сумаит Дж. С., Сыкульски Я. К. и Аль-Осман А. К. 2008. Решение различных типов задач экономического распределения нагрузки с использованием метода поиска образов. //Электроэнергетические компоненты и системы 36(3). нет. 250-265. doi:10.1080/15325000701603892.
12. Юрьевич Ю., Вонг К. П. 1999. Оптимальный алгоритм потока мощности на основе эволюционного программирования. //Труды IEEE по системам электропитания 14(4).
13. Гаиров, 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 работы энергосистемы и энергетической интеграции. //Электрические станции. – М., 2005. – № 1 – С. 44-49.
15. Баринов В.А., Мамиконянс Л.Г., Строев В.А. Разработка математических моделей и методов решения задач управления режимами работы и развития энергосистем //Электричество. – М., 2005. – № 7. – С. 8-21.
16. Тулкин Гаиров, Алишер Шаназаров. Алгоритм комплексной оптимизации режимов электрической сети. // Гидроэнергетика Узбекистана. – Ташкент, 2021. № 2. –С. 55-57.
17. Насиров Т.Х., Бердияров У.Н. Комплексная оптимизация //RESEARCh FOCUS - - <https://doi.org/10.5281/zenodo.8377339>.
18. Гаиров 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. Гаиров Т.Ш., Шаназаров А.Э. Оптимизация режимов работы энергосистем на основе использования искусственных нейронных сетей. //Journal of Yenergy and Resource Saving



REFERENCES

1. Fazylov Kh.F., Nasyrov T.Kh. Steady-state modes of electric power systems and optimization. – //Tashkent: Moliya, 1999. – 370 p. (In Russ.).
2. J. Kennedy, R. Eberhart."Particle Swarm Optimization for Power System Stability Enhancement"-//*IEEE Transactions on Power Systems*-2005,ieeexplore.ieee.org.
3. Y. Zhang, H. Li.A Comparative Study on Particle Swarm Optimization and Differential Yevolution for Power Systems,//*Energy Conversion and Management*-2010,[elsevier.com](https://www.elsevier.com).
4. M. Singh, R. Sharma.Hybrid PSO-GA Algorithm for Automatic Generation Control,//*International Journal of Yelectrical Power & Yenergy Systems*-2016,[sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com).
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. A. Bhattacharya, P. Chattopadhyay.Differential Yevolution for Optimal Power Flow Problems,//*Applied Soft Computing*-2009,[sciencedirect.com](https://www.sciencedirect.com).
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 Yenergy*, Volume 7, Issue 6, DEcember 2023, Pages 1199–1218, <https://doi.org/10.1093/ce/zkad061> YeES.
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 Yeconomic Load Dispatch Problems by a Novel Seeker Optimization Algorithm. // *International Journal on Yelectrical Yengineering 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 Yeconomic Load Dispatch Problems Using a Pattern Search Method. // *Yelectic Power Components and Systems* 36(3). no. 250-265. doi:10.1080/15325000701603892.
12. Yuryevich J, Wong K P. 1999. Yevolutionary 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. (In Russ.).
15. Barinov V.A., Mamikonyans L.G., Stroyev V.A. The DEvelopment of mathematical moDEs and methods for the solution of problems of the control regime and the DEvelopment of the yenergy system // *yelektrichestvo*. - Moscow, 2005. - #7. - S. 8-21. (In Russ.).
16. Tulkin Gayibov, Alisher Shanazarov. Algorithm of complex optimization of regimes of yelectric networks. // *UZBEKHYDROENERGY*. - Tashkent, 2021. #2. -S. 55-57. (In Russ.).
17. Nasirov T.Kh., Berdiyarov U.N. Kompleksnoy optimization of regimes of yelectroenergetic 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 Yelectic Power Systems //*International Journal of Advanced Research in Science, Yengineering 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" //*Journal of Yenergy and Resource Saving Problems*, issue 4, 2024, -no.18-28.