ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 3

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 3

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

EKOLOGIK MUAMMOLARNI HAL ETISHDA ELEKTR ENERGIYASI ISHLAB CHIQARISHNI MATEMATIK OPTIMALLASHTIRISH USULLARI

D.T.Muhamediyeva

«Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti» milliy tadqiqot universiteti.

E-mail: dilnoz134@rambler.ru

Annotatsiya. Barqaror rivojlanish sharoitida elektr energiyasi ishlab chiqarish jarayonlarining atrof-muhitga salbiy ta'sirini kamaytirish bilan bir vaqtda iqtisodiy samaradorlikni ta'minlash muhim ilmiy va amaliy masalalardan biri hisoblanadi. Mazkur ishda elektr energetika tizimlarida ekologik va iqtisodiy omillarni birgalikda hisobga olgan holda quvvatlarni optimal taqsimlash masalasi ko'rib chiqiladi. Ushbu masala ko'p mezonli, nochiziqli va cheklovlarga ega bo'lgan murakkab matematik optimallashtirish masalalaridan biridir. Masalani yechish uchun yorug'lik hasharotlari harakatiga asoslangan algoritm va evolyutsion tanlanish tamoyillariga tayanuvchi genetik algoritmning kombinatsiyasi asosida gibrid matematik yondashuv taklif etiladi. Taklif etilgan usul generatorlarning quvvat chegaralarini, yuklama muvozanatini hamda yoqilg'i sarfining nochiziqli xususiyatlarini hisobga olish imkonini beradi. Hisoblash tajribalari Python dasturlash tilida ishlab chiqilgan dastur yordamida amalga oshirildi va olingan natijalar taklif etilgan matematik usulning ekologik muammolarni hal etishda yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatdi.

Kalit so'zlar. ekologik muammolar; matematik optimallashtirish; elektr energetika tizimlari; quvvatlarni optimal taqsimlash; yoqilg'i sarfi; zararli moddalar chiqindilari; hisoblash algoritmlari.

Аннотация. В контексте устойчивого развития обеспечение экономической эффективности при одновременном снижении негативного воздействия процессов производства электроэнергии на окружающую среду является одной из важных научно-практических задач. В данной работе рассматривается вопрос оптимального распределения мощности в энергосистемах с учетом как экологических, так и экономических факторов. Этот вопрос представляет собой одну из сложных задач математической оптимизации, являющуюся многокритериальной, нелинейной и ограниченной. Для решения задачи предложен гибридный математический подход, основанный на комбинации алгоритма, основанного на поведении светящихся насекомых, и генетического алгоритма, основанного на принципах эволюционного отбора. Предложенный метод позволяет учитывать ограничения мощности генераторов, баланс нагрузки и

ISSN 3030-3907

нелинейные характеристики расхода топлива. Были проведены вычислительные эксперименты с использованием программы, разработанной на языке программирования Python, и полученные результаты показали, что предложенный математический метод обладает высокой эффективностью в решении экологических задач.

Ключевые слова: экологические проблемы; математическая оптимизация; энергосистемы; оптимальное распределение электроэнергии; расход топлива; выбросы вредных веществ; вычислительные алгоритмы.

Abstract. In the context of sustainable development, ensuring economic efficiency while reducing the negative impact of electricity production processes on the environment is one of the important scientific and practical issues. This work considers the issue of optimal power distribution in power systems, taking into account both environmental and economic factors. This issue is one of the complex mathematical optimization problems that is multi-criteria, nonlinear and constrained. To solve the problem, a hybrid mathematical approach is proposed based on a combination of an algorithm based on the behavior of light insects and a genetic algorithm based on the principles of evolutionary selection. The proposed method allows taking into account the power limits of generators, load balance, and nonlinear characteristics of fuel consumption. Computational experiments were carried out using a program developed in the Python programming language, and the results obtained showed that the proposed mathematical method has high efficiency in solving environmental problems.

Keywords. environmental problems; mathematical optimization; power systems; optimal power distribution; fuel consumption; emissions of harmful substances; computational algorithms.

KIRISH.

Bugungi kunda sanoat va aholi ehtiyojlarining ortib borishi elektr energiyasiga bo‘lgan talabning keskin oshishiga olib kelmoqda. Elektr energiyasining asosiy qismi issiqlik elektr stansiyalarida ishlab chiqarilishi sababli atrof-muhitga chiqariladigan zararli moddalar hajmi yildan-yilga ortib bormoqda. Ushbu holat ekologik xavfsizlikni ta’minlash va tabiiy resurslardan oqilona foydalanish masalalarini dolzarb qilib qo‘ymoqda. Elektr energetika tizimlarida quvvatlarni taqsimlash jarayoni nafaqat iqtisodiy jihatdan, balki ekologik nuqtai nazardan ham samarali bo‘lishi lozim. Shu sababli energiya ishlab chiqarishda yoqilg‘i sarfini kamaytirish va zararli gazlar chiqindilarini cheklashga qaratilgan matematik usullarni ishlab chiqish va amaliyotga tatbiq etish muhim ahamiyat kasb etadi. Quvvatlarni ekologik va iqtisodiy jihatdan optimal taqsimlash masalasi murakkab nochiziqli funksiyalar, qat’iy texnik cheklovlar va ko‘p mezonlilik bilan

ISSN 3030-3907

tavsiflanadi. An’anaviy matematik optimallashtirish usullari bunday masalalarni yechishda ko‘pincha yetarli aniqlik va barqarorlikni ta’minlay olmaydi. Shu munosabat bilan so‘nggi yillarda tabiiy jarayonlarga asoslangan intellektual algoritmlar energetika sohasida keng qo‘llanila boshladi. Mazkur ishda ekologik muammolarni hal etishga qaratilgan quvvatlarni optimal taqsimlash masalasini yechish uchun gibrid matematik yondashuv taklif etiladi hamda uning hisoblash natijalari tahlil qilinadi [1-4].

Maqolaning dolzarbligi hozirgi davrda elektr energetika tizimlarining jadal rivojlanishi va elektr energiyasiga bo‘lgan talabning yil sayin ortib borishi bilan bevosita bog‘liqdir. Elektr energiyasining asosiy qismi issiqlik elektr stansiyalarida ishlab chiqarilishi natijasida atmosferaga chiqarilayotgan zararli moddalar hajmi ortib, atrof-muhitga salbiy ta’sir ko‘rsatmoqda. Ushbu holat ekologik xavfsizlikni ta’minlash, yoqilg‘i resurslaridan oqilona foydalanish hamda energiya ishlab chiqarish jarayonlarida ekologik zararlarni kamaytirishga qaratilgan samarali matematik usullarni ishlab chiqishni taqozo etadi. Elektr energetika tizimlarida quvvatlarni taqsimlash jarayoni murakkab nochiziqli bog‘lanishlar, qat’iy texnik cheklovlar va ko‘p mezonli optimallashtirish talablari bilan tavsiflanadi. Shu sababli an’anaviy matematik yondashuvlar bunday masalalarni to‘liq va barqaror yechishda yetarli natija bermaydi. Mazkur jihatlar ekologik muammolarni hal etishda zamonaviy intellektual va gibrid matematik yondashuvlarning dolzarbligini belgilaydi. Mazkur tadqiqotning maqsadi elektr energetika tizimlarida ekologik va iqtisodiy omillarni birgalikda hisobga olgan holda quvvatlarni optimal taqsimlash masalasini yechish uchun samarali matematik usulni ishlab chiqish hamda uning hisoblash natijalari asosida zararli moddalar chiqindilarini kamaytirish imkoniyatlarini ilmiy jihatdan asoslashdan iboratdir [5-9].

Tadqiqot doirasida elektr energetika tizimlarida quvvatlarni ekologik va iqtisodiy jihatdan optimal taqsimlash masalasining matematik modeli shakllantirildi, yoqilg‘i sarfi va zararli moddalar chiqindilarini ifodalovchi nochiziqli funksiyalar tahlil qilindi hamda ushbu masalani yechishga mo‘ljallangan gibrid matematik algoritm ishlab chiqildi. Shuningdek, taklif etilgan usul dasturiy jihatdan amalga oshirilib, hisoblash tajribalari yordamida uning samaradorligi baholandi va ekologik hamda iqtisodiy ko‘rsatkichlar o‘rtasidagi muvozanatni ta’minlash imkoniyatlari o‘rganildi. Tadqiqotning ilmiy yangiligi elektr energetika tizimlarida quvvatlarni ekologik va iqtisodiy jihatdan optimal taqsimlash masalasini yechish uchun gibrid matematik yondashuvning taklif etilganligida namoyon bo‘ladi.

Ushbu yondashuv yoqilg‘i sarfi va zararli moddalar chiqindilarini birgalikda hisobga oluvchi ko‘p mezonli optimallashtirish modeliga asoslanadi hamda

ISSN 3030-3907

murakkab nochiziqli masalalarni yechishda yuqori aniqlik va barqarorlikni ta’minlashi hisoblash tajribalari orqali asoslab berildi. Shuningdek, ekologik omillarni hisobga olgan holda quvvatlarni optimal taqsimlashning samarali mexanizmi ilmiy jihatdan asoslandi [10-12].

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati elektr energetika tizimlarini rejalashtirish va boshqarish jarayonlarida yoqilg‘i sarfini kamaytirish hamda zararli moddalar chiqindilarini cheklashga qaratilgan qarorlar qabul qilish imkoniyatini yaratishida namoyon bo‘ladi. Ishlab chiqilgan matematik model va dasturiy ta’minot energiya ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirishda, ekologik xavfsizlikni ta’minlashga qaratilgan energetik loyihalarni baholashda, shuningdek oliy ta’lim muassasalarida matematik modellashtirish va optimallashtirish fanlarini o‘qitishda amaliy va o‘quv-uslubiy material sifatida foydalanilishi mumkin [13-15].

METODOLOGIYA.

Mazkur tadqiqotda elektr energetika tizimlarida ekologik va iqtisodiy omillarni birgalikda hisobga olgan holda generator quvvatlarini optimal taqsimlash masalasini yechish uchun gibrid metaevristik yondashuv qo‘llanildi. Taklif etilgan metodologiya yorug‘lik hasharotlarining jozibalanish xususiyatlariga asoslangan optimallashtirish algoritmi va evolyutsion qidiruv tamoyillariga tayanuvchi genetik optimallashtirish usulining ketma-ket qo‘llanilishiga asoslanadi. Ushbu yondashuv nochiziqli, ko‘p minimumli va qat’iy cheklovlarga ega bo‘lgan ekologik–iqtisodiy quvvat taqsimlash masalasini samarali yechish imkonini beradi.

Tizimda N_G ta generator mavjud bo‘lib, har bir generatorning ishlab chiqarayotgan quvvati P_i bilan belgilanadi. Masalaning asosiy maqsadi elektr energiyasi ishlab chiqarishdagi umumiy yoqilg’i sarfini va atrof-muhitga chiqariladigan zararli moddalar miqdorini minimallashtirishdan iboratdir. Shu sababli ko‘p mezonli optimallashtirish masalasi quyidagi vaznli yig‘indi yordamida yagona maqsad funksiyasiga keltiriladi:

$$F(P) = w \cdot C(P) + (1-w) \cdot E(P),$$

bu yerda $C(P)$ yoqilg’i sarfi funksiyasi, $E(P)$ esa ekologik chiqindilar funksiyasi hisoblanadi. $w \in [0,1]$ iqtisodiy va ekologik mezonlar o‘rtasidagi muvozanatni belgilovchi vazn koeffitsientidir.

Yoqilg’i sarfi funksiyasi generatorlarning nochiziqli ishlash xususiyatlarini, xususan klapan effektini hisobga olgan holda quyidagi ko‘rinishda aniqlanadi:

$$C(P) = \sum_{i=1}^{N_G} \left(a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i + \left| e_i \sin\left(f_i (P_i^{\min} - P_i) \right) \right| \right),$$

ISSN 3030-3907

bu yerda a_i, b_i, c_i yoqilg'i xarajatlarini tavsiflovchi koeffitsientlar, e_i va f_i esa klapan effekti amplitudasi va chastotasini ifodalovchi parametrlar hisoblanadi.

Atrof-muhitga chiqariladigan zararli moddalar miqdori generator quvvatiga bog'liq holda kvadratik funksiya orqali quyidagicha aniqlanadi:

$$E(P) = \sum_{i=1}^{N_G} (A_i P_i^2 + B_i P_i + C_i).$$

Optimallashtirish masalasi quyidagi texnik cheklovlar ostida yechiladi. Birinchidan, quvvatlar muvozanati sharti bajarilishi lozim:

$$\sum_{i=1}^{N_G} P_i = P_D,$$

bu yerda P_D tizimning umumiy yuklama quvvatini bildiradi. Ikkinchidan, har bir generator quvvati ruxsat etilgan minimal va maksimal chegaralar bilan cheklangan:

$$P_i^{\min} \le P_i \le P_i^{\max}.$$

Mazkur cheklovlarni hisobga olish maqsadida maqsad funksiyasiga jazolovchi funksiya qo'shildi va optimallashtirish jarayonida quvvatlar muvozanatidan chetlanish holatlari katta jarima bilan baholandi:

$$F_{\text{yakuniy}}(P) = wC(P) + (1-w)E(P) + \mu \left| \sum_{i=1}^{N_G} P_i - P_D \right|,$$

bu yerda μ jazolovchi koeffitsient hisoblanadi.

Masalani yechishning birinchi bosqichida yorug'lik hasharotlari algoritmi qo'llanildi. Ushbu algoritmda har bir yechim yorug'lik hasharoti sifatida qaraladi va uning yorqinligi maqsad funksiyasi qiymatiga bog'liq bo'ladi. Agar j – yechim i – yechimdan yaxshiroq bo'lsa, u holda i – yechim quyidagi qoida asosida yangilanadi:

$$P_i^{t+1} = P_i^t + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (P_j^t - P_i^t) + \alpha(\text{rand} - 0.5),$$

bu yerda r_{ij} yechimlar orasidagi Evklid masofa, β_0 maksimal jozibalanish koeffitsienti, γ so'nish parametri, α tasodifiy qidiruv amplitudasi hisoblanadi.

Yorug'lik hasharotlari algoritmi global qidiruv bosqichini amalga oshirib, yechimlar fazosida istiqbolli hududlarni aniqlaydi. Ikkinchi bosqichda ushbu natijalarni yanada aniqlashtirish maqsadida genetik optimallashtirish yondashuvi qo'llanildi. Ushbu bosqichda eng yaxshi yechim atrofida tasodifiy mutatsiyalar hosil qilinadi va agar yangi yechim maqsad funksiyasi qiymatini yaxshilasa, u holda qabul qilinadi:

$$p^{\text{yangi}} = p^{\text{eng yaxshi}} + \text{N}(0, \sigma).$$

ISSN 3030-3907

Natijada gibrid yondashuv global va lokal qidiruv imkoniyatlarini birlashtirib, ekologik va iqtisodiy jihatdan optimal quvvat taqsimotini aniqlashga imkon beradi. Taklif etilgan metodologiya murakkab nochiziqli optimallashtirish masalalarini yechishda yuqori barqarorlik va hisoblash samaradorligini ta’minlaydi hamda ekologik muammolarni hal etishda zamonaviy matematik usullarning amaliy qo‘llanilishini kengaytiradi.

NATIJALAR. Taklif etilgan gibrid yorug‘lik hasharotlari va genetik optimallashtirish algoritmi asosida ekologik–iqtisodiy quvvat taqsimlash masalasi yechildi. Hisoblash tajribalari besh generatorli elektr energetika tizimi uchun olib borildi va umumiy yuklama quvvati 850 megavatt deb qabul qilindi. Optimallashtirish natijasida har bir generator uchun optimal quvvat qiymatlari aniqlandi.

Olingan natijalarga ko‘ra, birinchi generator 283.83 megavatt, ikkinchi generator 181.85 megavatt, uchinchi generator 50.00 megavatt, to‘rtinchi generator 164.38 megavatt va beshinchi generator 169.73 megavatt quvvat ishlab chiqardi. Generatorlar tomonidan ishlab chiqarilgan umumiy quvvat 849.79 megavattni tashkil etdi, bu esa yuklama talabiga juda yaqin bo‘lib, quvvatlar muvozanati shartining samarali bajarilganini ko‘rsatadi.

Yoqilg‘i sarfi qiymati 7417.37 birlikni, atrof-muhitga chiqariladigan zararli moddalar miqdori esa 2222.87 birlikni tashkil etdi. Ushbu qiymatlar asosida hisoblangan umumiy maqsad funksiyasi qiymati 5035.08 ga teng bo‘ldi. Natijalardan ko‘rinadiki, optimallashtirish jarayonida ekologik va iqtisodiy ko‘rsatkichlar o‘rtasida muvozanatli yechimga erishildi.

Grafiklar tahlili shuni ko‘rsatdiki, yorug‘lik hasharotlari algoritmi yordamida global qidiruv amalga oshirilgach, genetik optimallashtirish bosqichi orqali yechim lokal minimumlardan chiqarilib, optimal nuqta atrofida aniqlashtirildi. Generator quvvatlarining chegaraviy qiymatlariga yaqinlashuvi tizimda yoqilg‘i sarfi past bo‘lgan generatorlardan maksimal darajada foydalanilganini ko‘rsatadi. Ayniqsa, uchinchi generatorning minimal quvvatda ishlashi uning yoqilg‘i va ekologik xarajatlari yuqori ekanligini tasdiqlaydi.

Yoqilg‘i sarfi va zararli moddalar chiqindilarining bir vaqtning o‘zida kamayishi gibrid algoritmning ekologik muammolarni hal etishdagi samaradorligini ko‘rsatadi. Natijalar algoritmning barqarorligi va yuqori aniqlikka ega ekanligini tasdiqlaydi.

Taklif etilgan gibrid algoritm samaradorligini baholash maqsadida u bir qator keng tarqalgan optimallashtirish algoritmlari bilan solishtirildi. Solishtirish mezonlari sifatida umumiy yoqilg‘i sarfi, zararli moddalar chiqindilari va umumiy

ISSN 3030-3907

maqsad funksiyasi qiymati tanlandi. Barcha algoritmlar bir xil boshlang‘ich shartlar va parametrlar ostida sinovdan o‘tkazildi.

1-jadval

Turli algoritmlar bo‘yicha optimallashtirish natijalarining solishtirilishi

Algoritm turi	Yoqilg‘i sarfi	Ekologik chiqindilar	Maqsad funksiyasi
Genetik algoritm	7685.42	2410.35	5568.21
Zarrachalar to‘dasi algoritmi	7552.18	2328.76	5234.67
Yorug‘lik hasharotlari algoritmi	7478.95	2269.40	5112.83
Taklif etilgan gibrid algoritm	**7417.37**	**2222.87**	**5035.08**

Jadvaldan ko‘rinadiki, taklif etilgan gibrid algoritm barcha solishtirilgan algoritmlarga nisbatan eng past yoqilg‘i sarfi va eng kam zararli moddalar chiqindilarini ta’minladi. Ayniqsa, umumiy maqsad funksiyasi qiymatining kamayishi ekologik va iqtisodiy mezonlar bo‘yicha muvozanatli yechimga erishilganini ko‘rsatadi. Genetik algoritmda global qidiruv imkoniyatlari mavjud bo‘lsa-da, u ko‘pincha lokal minimumlarga tushib qolishi sababli optimal yechimni aniqlashda yetarli samaradorlikni ko‘rsata olmadi. Zarrachalar to‘dasi algoritmi tez konvergentsiyaga ega bo‘lishiga qaramay, nochiziqli va ko‘p minimumli masalalarda barqarorlik muammosiga duch keldi. Yorug‘lik hasharotlari algoritmi esa global qidiruvda yaxshi natija bergan bo‘lsa-da, yechimni aniqlashtirish bosqichida cheklangan imkoniyatlarga ega bo‘ldi.

Taklif etilgan gibrid algoritm ushbu kamchiliklarni bartaraf etib, global va lokal qidiruv mexanizmlarini birlashtirgan holda ekologik–iqtisodiy quvvat taqsimlash masalasini yuqori aniqlik bilan yechishga muvaffaq bo‘ldi. Natijalar ushbu metodning murakkab energetika tizimlarida ekologik muammolarni hal etishda samarali va ishonchli vosita ekanligini ilmiy jihatdan tasiqlaydi.

XULOSA. Mazkur tadqiqotda elektr energetika tizimlarida ekologik va iqtisodiy omillarni birgalikda hisobga olgan holda generator quvvatlarini optimal taqsimlash masalasi ko‘rib chiqildi. Tadqiqot davomida nochiziqli, ko‘p minimumli va qat’iy cheklovlarga ega bo‘lgan ekologik–iqtisodiy quvvat taqsimlash masalasini yechish uchun gibrid metaevristik yondashuv ishlab chiqildi va amaliy jihatdan sinovdan o‘tkazildi. Taklif etilgan metod yorug‘lik hasharotlari algoritmining global qidiruv imkoniyatlari va genetik optimallashtirish usulining lokal aniqlashtirish mexanizmlarini o‘zida mujassamlashtirgan bo‘lib, murakkab energetika tizimlari uchun yuqori samaradorlikni ta’minlashi aniqlandi. Hisoblash

ISSN 3030-3907

tajribalari natijalari shuni ko‘rsatdiki, ishlab chiqilgan algoritm yordamida quvvatlar muvozanati sharti deyarli to‘liq bajarildi hamda umumiy ishlab chiqarilgan quvvat yuklama talabiga juda yaqin qiymatga erishdi. Olingan optimal yechimlar asosida yoqilg‘i sarfi va atrof-muhitga chiqariladigan zararli moddalar miqdori sezilarli darajada kamaytirildi. Natijalardan ko‘rinadiki, taklif etilgan yondashuv ekologik xavfsizlik va iqtisodiy samaradorlik o‘rtasidagi muvozanatni ta’minlashda yuqori aniqlikka ega bo‘lib, amaldagi optimallashtirish algoritmlariga nisbatan ustunlikka ega.

Tadqiqot natijalari asosida olib borilgan solishtirma tahlil shuni ko‘rsatdiki, gibrid algoritm genetik algoritm, zarrachalar to‘dasi algoritmi va yorug‘lik hasharotlari algoritmiga nisbatan umumiy maqsad funksiyasi qiymatini kamaytirishda samaraliroq hisoblanadi. Bu holat algoritmning global qidiruv jarayonida yechimlar fazosini keng qamrab olishi hamda lokal qidiruv bosqichida optimal nuqtani aniqlashtirish imkoniyatlariga ega ekanligi bilan izohlanadi. Natijada, ekologik va iqtisodiy mezonlar bo‘yicha muvozanatli va barqaror yechimga erishildi. Mazkur tadqiqot natijalari asosida bir qator ilmiy va amaliy takliflar ilgari surilishi mumkin.

Xususan, ishlab chiqilgan matematik model va algoritmik yondashuvni real elektr energetika tizimlariga moslashtirish orqali energiya ishlab chiqarish jarayonlarida yoqilg‘i sarfini optimallashtirish va zararli moddalar chiqindilarini kamaytirish imkoniyati mavjud. Taklif etilgan metodni energiya tizimlarini rejalashtirish va operativ boshqarish masalalarida qo‘llash ekologik talablarning kuchayib borayotgan sharoitida muhim ahamiyat kasb etadi. Shuningdek, kelgusidagi tadqiqotlarda taklif etilgan modelni tarmoqlardagi quvvat yo‘qotishlarini hisobga olgan holda kengaytirish, qayta tiklanuvchi energiya manbalarini integratsiya qilish hamda ko‘p davrli yuklama rejimlarini tahlil qilish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Bundan tashqari, Pareto optimallik yondashuviga asoslangan ko‘p mezonli optimallashtirish usullarini qo‘llash orqali ekologik va iqtisodiy mezonlar o‘rtasidagi muvozanatni yanada chuqurroq tahlil qilish imkoniyati mavjud.Mazkur tadqiqot ekologik muammolarni hal etishda matematik modellashtirish va intellektual optimallashtirish usullarining yuqori amaliy salohiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi hamda elektr energetika tizimlarini barqaror rivojlantirish yo‘lida ilmiy asoslangan yechimlarni taklif etadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. **Feng C., Shao C., Wang X.** A fast solution method to economic dispatch type problem // *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*. – 2021. – Vol. 9, No. 5. – P. 1227–1232.

ISSN 3030-3907

2. **Pattanaik J.K., Basu M., Dash D.P.** Improved real-coded genetic algorithm for dynamic economic dispatch // *Journal of Electrical Systems and Information Technology*. – 2018. – Vol. 5, No. 3. – P. 349–362.

3. **Xu T., Wu W., Zheng W., Sun H., Wang L.** Fully distributed quasi-Newton multi-area dynamic economic dispatch method // *IEEE Transactions on Power Systems*. – 2017. – Vol. 33, No. 4. – P. 4253–4263.

4. **Sen T., Mathur H.D.** A new hybrid ACO–ABC–HS algorithm for economic dispatch problem // *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. – 2016. – Vol. 78. – P. 735–744.

5. **Krishnamurthy S., Tzoneva R., Apostolov A.** Parallel solution of a combined economic emission dispatch problem // *Electric Power Components and Systems*. – 2017. – Vol. 45, No. 4. – P. 393–409.

6. **Mutlaq M.** Environmental economic dispatch of thermal power plants in Saudi Arabia: A case study // *Proceedings of ISEC*. – IEEE, 2019. – P. 1–5.

7. **Wu K., Li Q., Lin J., Yi Y., Chen Z., Chen M.** Fast distributed Lagrange dual method for economic dispatch of microgrids // *Energy Reports*. – 2020. – Vol. 6. – P. 640–648.

8. **Liang H., Liu Y., Shen Y., Li F.** Multi-objective chaotic bat algorithm for economic and emission dispatch // *Chinese Automation Congress*. – IEEE, 2017. – P. 4684–4689.

9. **Bora T.C., Mariani V.C., dos Santos Coelho L.** Multi-objective optimization of environmental-economic dispatch with reinforcement learning // *Applied Thermal Engineering*. – 2019. – Vol. 146. – P. 688–700.

10. **Khan N.A., Sidhu G.A.S., Gao F.** Optimizing combined emission economic dispatch for solar integrated power systems // *IEEE Access*. – 2016. – Vol. 4. – P. 3340–3348.

11. **Ziane I., Benhamida F., Graa A.** Simulated annealing algorithm for combined economic and emission power dispatch // *Neural Computing and Applications*. – 2017. – Vol. 28, No. 1. – P. 197–205.

12. **Jena C., Basu M., Panigrahi C.K.** Differential evolution with Gaussian mutation for combined heat and power dispatch // *Soft Computing*. – 2016. – Vol. 20, No. 2. – P. 681–688.

13. **Zou D., Gong D.** Differential evolution based on migrating variables for the combined heat and power dynamic economic dispatch // *Energy*. – 2022. – Vol. 238. – Art. 121664.

14. **Balamurugan R., Subramanian S.** A simplified recursive approach to combined economic emission dispatch // *Electric Power Components and Systems*. – 2007. – Vol. 36, No. 1. – P. 17–27.

ISSN 3030-3907

15. **Li X., Wang W., Wang H., Wu J., Fan X., Xu Q.** Dynamic environmental economic dispatch of hybrid renewable energy systems // *Energy*. – 2020. – Vol. 193. – Art. 116699.

ISSN 3030-3907