

## TARKIBIDA QAYTA TIKLANUVCHAN ENERGIYA MANBALARIDA ISHLOVCHI ELEKTR STANSIYALARI MAVJUD BO'LGAN ELEKTR ENERGETIKA TIZIMLARINING REJIMLARINI OPTIMALLASH

<sup>1</sup>Gayibov T.SH., <sup>2</sup>Fayziyev M.M., <sup>3</sup>Toshev T.U.

<sup>1</sup>Gayibov Tulkin Shernazarovich – texnika fanlari doktori, professor. Islom Karimov nomidagi “Toshkent davlat texnika universiteti” “Elektr stansiyalari, tarmoqlari va tizimlari” kafedrasini mudiri,

Toshkent sh. O‘zbekiston, E-mail: [tulgayibov@gmail.com](mailto:tulgayibov@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0003-3619-2844>

<sup>2</sup>Fayziyev Maxmanazar Mansurovich – Qarshi muhandislik iqtisodiyot instituti “Elektr energetikasi” kafedrasini mudiri, texnika fanlari nomozodi, dotsent. Qarshi sh. O‘zbekiston Respublikasi. E-mail:

[m.m.fayziyev1961@gmail.com](mailto:m.m.fayziyev1961@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0002-6738-8463>

<sup>3</sup>Toshev Tajiddin Ungboyyevich - Qarshi muhandislik iqtisodiyot instituti “Elektr energetikasi” kafedrasini katta o‘qituvchisi. Qarshi sh. O‘zbekiston Respublikasi. E-mail: [tojiddin20.02.85@gmail.com](mailto:tojiddin20.02.85@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-9260-5151>

**Annotatsiya:** Maqolada tarkibida issiqlik (IES), gidro (GES), quyosh (QES) va shamol (SHES) elektr stansiyalari mavjud bo‘lgan elektr energetika tizimining sutkalik rejimini optimal rejalashtirish masalasining matematik modeli keltirilgan. Qayta tiklanuvchan energiya manbalarida ishlovchi elektr stansiyalarining quvvat ishlab chiqarish grafiklari oldindan prognozlashtirilgan sharoitlarda rejimning optimallik sharti hosil qilingan. Masalani yechish bo‘yicha asosiy yondoshuv taklif etilgan.

**Kalit so‘zlar:** qayta tiklanuvchan energiya manbalari, elektr energetika tizimi, fotovoltik qurilmalar, shamol elektr stansiyalari, matematik model, algoritmlar, prognozlarsh, chegaraviy shartlar, Lagranj funksiyasi, yoqilg‘i sarfi.

**Abstract:** In this article the mathematic model of the problem of optimization of daily mode of electric power system which have thermal (TPP), hydro (HPP), solar (SPP) and wind (WPP) power plants is presented. The optimality conditions for cases of preliminary forecasting of schedules of generated power by power plants operating on renewable energy resources are obtained. The basic approach for solution the task under consideration is offered.

**Keywords:** renewable energy sources, electric power system, photovoltaic devices, wind farms, mathematical model, algorithms, forecasts, boundary conditions, Lagrange function, fuel consumption.

Hozirgi davrda jahonning ko‘plab mamlakatlarida elektr energetika tizimiga qayta tiklanuvchan energiya manbalarida ishlovchi elektr stansiyalarini, xususan quyosh va shamol stansiyalarini, joriy etish va ulardan samarali foydalanish bo‘yicha ko‘plab ilmiy-tadqiqot va amaliy ishlar olib borilmoqda. Bunday stansiyalarning tabiiy qayta tiklanuvchan energiya manbalaridan foydalanishi, atrof-muhitga ta‘siri bilan bog‘liq muammolarning mavjud emasligi, ishlatish xarajatlarining nisbatan kamligi singari qator afzalliklari ushbu yo‘nalishdagi ishlarning o‘ta muhimligi va kelajakda ularni yanada rivojlantirish zarurligini belgilaydi.

O‘zbekiston Respublikasi energetikasini rivojlantirish bo‘yicha qabul qilingan davlat dasturlarida qayta tiklanuvchan energiya manbalarida ishlovchi elektr stansiyalarini elektr energetika tizimiga keskin suratlarda joriy etib borish vazifalari belgilangan. Ushbu vazifalarni bajarish doirasida respublikamizda 100 MVt quvvatli fotovoltik qurilmalar asosidagi quyosh elektr stansiyalari ishga tushirildi. Yaqin kelajakda ushbu tipdagi yangi va shamol stansiyalarini qurish va ishga tushirish ishlari rejalashtirilgan. Bunday sharoitlarda o‘ziga xos rejimda ishlovchi bunday stansiyalarga ega bo‘lgan energetika tizimining turli ish rejimlarini rejalashtirish va boshqarishning mavjud usullari va algoritmlari mos tarzda takomillashtirilishi zarur. Bunga mos ravishda masalaning katta aniqlikdagi matematik modeli va bu asosda uni yechishning samarali usul va algoritmlarini ishlab chiqish talab etiladi.

Ushbu yo‘nalishda jahon miqyosida amalga oshirilgan ko‘plab tadqiqotlarda, jumladan [1-3] da, asosiy e‘tibor shamol va quyosh stansiyalarining quvvatlarini prognozlash aniqligini oshirish

hamda elektr energiya akkumulyatorlaridan foydalanish samaradorligini oshirishga qaratilgan. Biroq katta sig‘imli akkumulyatorlarni yaratish va ishlatish texnologiyalari ishlab chiqish hozircha boshlang‘ich bosqichlarda turibdi. Shuningdek, hozirgi davrda akkumulyator qurilmalaridan foydalanish bunday tipdagi stansiyalarni qurish uchun sarflanuvchi kapital xarajatlarni bir-necha marta oshirishga olib keladi. Ushbu jihatlarni e‘tiborga olib, bunday tipdagi katta quvvatli stansiyalar uchun mavjud texnologiyalar asosan akkumulyator qurilmalaridan foydalanishga asoslanmagan.

Ushbu ishda tarkibida turli xil elektr stansiyalari – IES, GES, QES va ShES mavjud bo‘lgan energetika tizimlarining sutkalik rejimlarini optimal rejalashtirish masalasining matematik modeli va undan foydalanish asosida masalani yechish bo‘yicha asosiy yondoshuv taklif etilgan. Maqsad funksiyasi sutka davomida barcha IESlarda yoqiluvchi yoqilg‘i bilan bog‘liq bo‘lgan xarajatlar funksiyasidan iborat:

$$B = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^{N_T} B_{it}(P_{it}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

bu yerda  $N_T$  – elektr energetika tizimidagi optimallashtirishda qatnashuvchi IESlar soni;  $P_{it}$ ,  $B_{it}$  – optimallashtirishda qatnashuvchi  $i$ -chi IESning sutkani  $t$ -soatidagi quvvati va ushbu soatda stansiyada sarflanuvchi yoqilg‘i bilan bog‘liq bo‘lgan xarajatlar.

Chegaraviy shartlar:

1) сутканинг ҳар бир соатида электр энергетика тизимида актив қувват баланси

$$\sum_{i=1}^{N_T} P_{it} + \sum_{j=1}^{N_G} P_{jt} + \sum_{k=1}^{N_Q} P_{kt} + \sum_{s=1}^{N_{SH}} P_{st} = P_{Ht}, \quad t=1, 2, \dots, 24, \quad (2)$$

bu yerda  $N_G$ ,  $N_Q$ ,  $N_{SH}$  – optimallashtirishda qatnashuvchi GES, QES va ShESlar soni;  $P_{it}$ ,  $P_{jt}$ ,  $P_{kt}$ ,  $P_{st}$  – optimallashtirishda qatnashuvchi  $i$ -chi IES,  $j$ -chi GES,  $k$ -chi QES va  $s$ -chi ShES larning sutkani  $t$ -chi soatidagi quvvatlari;  $P_{Ht}$  – sutkaning  $t$ -chi soatida elektr energetika tizimining umumiy yuklamasi (elektr tarmog‘idagi isroflarni qushgan holda).

2) har bir GESda sutka davomida sarflanuvchi umumiy suv miqdori bo‘yicha tenglik ko‘rinishidagi chegaraviy shart

$$\int_0^{24} Q_{jt}(P_{jt}) dt = \bar{Q}_j, \quad j=1, 2, \dots, N_G, \quad (3)$$

bu yerda  $P_{jt}$ ,  $Q_{jt}$  – optimallashtirishda qatnashuvchi  $j$ -chi GESning sutkani  $t$ -soatidagi quvvati va ushbu soatda unda sarflanuvchi suv miqdori;  $\bar{Q}_j$  - sutka davomida  $j$ -chi GESda sarflash uchun berilgan suv miqdori.

3) har bir elektr stansiyasining bera olishi mumkin bo‘lgan minimal va maksimal quvvatlari bo‘yicha tengsizlik ko‘rinishidagi oddiy chegaraviy shartlar

$$P_{it}^{\min} \leq P_{it} \leq P_{it}^{\max}, \quad P_{jt}^{\min} \leq P_{jt} \leq P_{jt}^{\max}, \quad P_{kt}^{\min} \leq P_{kt} \leq P_{kt}^{\max}, \quad P_{st}^{\min} \leq P_{st} \leq P_{st}^{\max}, \quad (4)$$

bundan  $P_{it}^{\min}$ ,  $P_{it}^{\max}$ ,  $P_{jt}^{\min}$ ,  $P_{jt}^{\max}$ ,  $P_{kt}^{\min}$ ,  $P_{kt}^{\max}$ ,  $P_{st}^{\min}$ ,  $P_{st}^{\max}$  -  $i$ -chi IES,  $j$ -chi GES,  $k$ -chi QES va  $s$ -chi SHESlarning sutkani  $t$ -chi soatida bera olishi mumkin bo‘lgan minimal va maksimal chegaraviy quvvatlari.

Agar an’anaviy tipdagi stansiyalar hisoblanuvchi IESlar va GESlar uchun har bir soatda bera olishi mumkin bo‘lgan minimal va maksimal quvvatlarning qiymatlari ularda ishlovchi agregatlarning tarkibi hamda texnologik jarayonga muvofiq tarzda aniqlansa, no’anaviy stansiyalar sanalgan ShES va QESlarda ularning qiymatlari texnologik jarayondan tashqari quyida keltirilgan omillrga muvofiq tarzda ham aniqlanishi mumkin.

ShESning har bir soatda bera olishi mumkin bo‘lgan minimal va maksimal chegaraviy quvvatlari uning quvvatini shamolning tezligiga va uning foydalanish uchun ruxsat etilganligiga bog‘liq holda quyidagicha aniqlanuvchi formulasidan foydalanish asosida belgilanishi mumkin [4]:

$$P_{kt} = \begin{cases} 0 = P_{it}^{\min}, & \text{агар } 0 \leq v_{kt} \leq v_{k.\min} \text{ ёки } v_{kt} > v_{k.\max} \text{ булса;} \\ \frac{P_k^{\text{НОМ}}}{v_{k.\text{НОМ}}^3 - v_{k.\min}^3} \cdot v_{kt}^3 - \frac{v_{k.\text{НОМ}}}{v_{k.\text{НОМ}}^3 - v_{k.\min}^3} \cdot P_k^{\text{НОМ}}, & \text{агар } v_{k.\min} \leq v_{kt} \leq v_{k.\max} \text{ булса;} \\ P_k^{\text{НОМ}}, & \text{агар } v_{k.\text{НОМ}} \leq v_{kt} \leq v_{k.\max} \text{ булса.} \end{cases} \quad (5)$$

bu yerda  $P_k^{HOM}$  - tizimdagi  $k$ - chi SHESning nominal quvvati;  $v_{kt}$ ,  $v_{k..HOM}$  - shamolning sutkani  $t$ - chi soatidagi va nominal tezliklari;  $v_{k.min}$ ,  $v_{k.max}$  - shamolning ShES turbinalarining ruxsat etilgan rejimda ishlashi uchun ruxsat etilgan minimal va maksimal tezliklari.

Shuningdek, fotovoltik modullar bazasidagi quyosh elektr stansiyasining quvvati bir qator omillarga bog‘liq bo‘lib, uning qiymatlari quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{st} = \frac{P_{s.HOM} I_{st} [1 + k_T (T_t - T_{HOM})]}{I_{HOM}}, \quad (6)$$

bu yerda  $P_{s.HOM}$  - belgilangan standart sharoitda QES beruvchi quvvat (nominal quvvat);  $I_{st}$  - sutkaning  $t$ - chi soatida quyosh nurining intensivligi;  $I_{HOM}$  - belgilangan standart sharoitda quyosh nurining intensivligi;  $T_t$  - sutkaning  $t$ - chi soatida fotovoltik modulning harorati;  $k_T$ - quvvatning harorat koeffitsiyenti;  $T_{HOM}$  - standart sharoitdagi harorat.

Elektr energetika tizimining rejimini rejalashtirishda SHES va QESlar ularning quvvatlarini birlamchi energiya resursining mavjudligiga va miqdoriga bog‘liq holda (5) va (6) formulalar orqali oldindan aniqlash orqali ishtirok etishi mumkin. Bunday holatda stansiyalarning optimal quvvatlarini topish masalasini yechish ularning Lagranj funksiyasi

$$L = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^{N_T} B_{it} (P_{it}) + \sum_{t=1}^{24} \mu_t \left( \sum_{i=1}^{N_T} P_{it} + \sum_{j=1}^{N_G} P_{jt} + \sum_{k=1}^{N_K} P_{kt} + \sum_{s=1}^{N_{III}} P_{st} - P_{Ht} \right) + \sum_{j=1}^{N_G} \lambda_j \left( \int_0^{24} Q_{jt} (P_{jt}) dt - \bar{Q}_j \right) \rightarrow \min \quad (7)$$

ning minimal bo‘lishini ta‘minlovchi qiymatlarini oddiy chegaraviy shartlar (4) ni hisobga olib aniqlashga keltiriladi. Bu yerda  $\mu_t$ - sutkaning  $t$ - chi soatida energetika tizimda aktiv quvvat balansi bo‘yicha chegaraviy shartni hisobga oluvchi noma‘lum Lagranj ko‘paytuvchisi;  $\lambda_j$  – optimallashtirishda qatnashuvchi  $j$ -chi GESda sutka davomida suv sarfi bo‘yicha chegaraviy shartni hisobga oluvchi noma‘lum Lagranj ko‘paytuvchisi.

Noma‘lumlarning Lagranj funksiyasi (7) ni minimal bo‘lishini ta‘minlovchi qiymatlarida uning birinchi tartibli hosilalari nulgaga teng ekanligidan foydalanib, quyidagi optimallik shartini hosil qilamiz:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial P_{it}} = b_{it} (P_{it}) + \mu_t = 0, & i = 1, 2, \dots, N_T; \quad t = 1, 2, \dots, 24; \\ \frac{\partial L}{\partial P_{jt}} = \mu_t + \lambda_j q_{jt} (P_{jt}) = 0, & j = 1, 2, \dots, N_G; \quad t = 1, 2, \dots, 24; \\ \frac{\partial L}{\partial \mu_t} = \sum_{i=1}^{N_T} P_{it} + \sum_{j=1}^{N_G} P_{jt} + \sum_{k=1}^{N_K} P_{kt} + \sum_{s=1}^{N_{III}} P_{st} - P_{Ht} = 0, & t = 1, 2, \dots, 24; \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda_j} = \int_0^{24} Q_{jt} (P_{jt}) dt - \bar{Q}_j = 0, & j = 1, 2, \dots, N_G. \end{cases} \quad (8)$$

Umumiy holatda hosil bo‘lgan tenglamalar sistemasini yechish orqali barcha stansiyalarning sutkaning barcha soatlaridagi optimal quvvatlarini aniqlash mumkin. Biroq asosiy hollarda uning egri chiziqli xarakterda bo‘lishi [5, 6] hamda tenglamalar va noma‘lumlar sonining  $t(N_T + N_G + 1) + N_G$  ga teng bo‘lishi uni yechishda mos qiyinchiliklarni hosil qilishi mumkin. Shu sababli ushbu shartdan asosan optimallik shartining ma‘nosini tunish maqsadida foydalanish qulay hisoblanadi.

Muayyan shakl almashtirishlardan so‘ng so‘nggi optimallik shartini quyidagi nisbatan qulay ko‘rinishda ifodalash mumkin:

$$\begin{cases} b_{it} (P_{it}) = \lambda_j q_{jt} (P_{jt})_t, & i = 1, 2, \dots, N_T; \quad j = 1, 2, \dots, N_G; \quad t = 1, 2, \dots, 24; \\ \sum_{i=1}^{N_T} P_{it} + \sum_{j=1}^{N_G} P_{jt} + \sum_{k=1}^{N_K} P_{kt} + \sum_{s=1}^{N_{III}} P_{st} = P_{Ht}, & t = 1, 2, \dots, 24; \\ \int_0^{24} Q_{jt} (P_{jt}) dt = \bar{Q}_j, & j = 1, 2, \dots, N_G. \end{cases} \quad (9)$$

Shunday qilib, ko‘rilayotgan masalani yechish optimallik sharti (9) ni realizatsiya qilishdan iborat bo‘ladi. Buning uchun bir qator optimallashtirish usullari va algoritmlaridan foydalanish mumkin bo‘lsada, bu maqsadda bugungi kunda ushbu tipdagi masalalarni yechishda foydalana boshlangan genetik algoritmnini qo‘llash samarali hisoblanadi [4, 7,8]. Unga muvofiq hisoblash algoritmi quyidagi amallarni bajarishni ko‘zda tutadi:

- 1) Chatishtirish va mutatsiya ehtimolliklarini qabul qilish;
- 2) Optimallashtirishda qatnashuvchi stansiyalarning quvvatlarini boshlang‘ich qiymatlari bilan belgilanuvchi boshlang‘ich nuqtalar (xromosomalar) to‘plami (boshlang‘ich populyatsiya) ni shakllantirish;
- 3) Hisoblashni yakunlash shartining bajarilganligini tekshirish. U bajarilgan vaziyatda populyatsiyadagi barcha nuqtalar (yechim variantlari) ni solishtirish asosida eng yaxshisini tanlash va natijalarni chiqarish. Aks holda navbatdagi 4- punktga o‘tish;
- 4) Shakllangan populyatsiyaning har bir tashkil etuvchisi (yechim varianti) ni mosligini tekshirish (har bir nuqta uchun maqsad funksiyasining qiymatlarini hisoblash);
- 5) Maqsad funksiyasining qiymatlarini e‘tiborga olgan holda qabul qilingan ehtimollikda yechim variantlarining juftliklarini tasodifiy tarzda aniqlash va chatishtirishni amalga oshirish orqali yangi populyatsiyani shakllantirish;
- 6) Yangi shakllantirilgan populyatsiyaning ayrim yechim variantlarida qabul qilingan ehtimollikda mutatsiyani amalga oshirish; 7) 3- punktga o‘tish.

Ushbu holatda 4- punktni bajarishda maqsad funksiyasi – IESlarda yoqilg‘i sarfi bilan bog‘liq bo‘lgan umumiy xarajatlarning qiymati ularning jadval ko‘rinishida berilgan yoqilg‘i sarfining nisbiy o‘rni xarakteristikalarini integrallash asosida aniqlanadi.

#### **Xulosalar:**

1) Tarkibida turli xil stansiyalar – IES, GES, QES va SHESlar mavjud bo‘lgan elektr energetika tizimlarining sutkalik rejimlarini optimal rejalashtirish masalasining samarali matematik modeli taklif etildi. Ushbu model optimallashtirish jarayoniga ta‘sir etuvchi barcha omillarni nisbatan to‘liq hisobga olish imkonini beradi.

1) Elektr energetika tizimlarining sutkalik rejimlarini optimal rejalashtirish uchun taklif etilgan matematik model asosida masalani yechishda genetik algoritmdan foydalanish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Ushbu algoritm masalani barcha chegaraviy shartlarni hisobga olib, stansiyalarning real energetik xarakteristikalaridan foydalanish asosida katta aniqlikda yechish imkonini beradi.

#### **ADABIYOTLAR**

1. G. Wang et al., “A hybrid wind power forecasting approach based on Bayesian model averaging and ensemble learning,” *Renewable Energy* 145, 2426–2434, (2020).
2. M. Sun, C. Feng, and J. Zhang, “Conditional aggregated probabilistic wind power forecasting based on spatio-temporal correlation,” *Appl. Energy* 256, 113842 (2019).
3. A. Bugala et al., “Short-term forecast of generation of electric energy in photovoltaic systems,” *Renewable Sustainable Energy Rev.* 81, 306–312, (2018).
4. Pinduan Hu, Cheng Cao, and Shuailong Dai. “Optimal dispatch of combined heat and power units based on particle swarm optimization with genetic algorithm”. *AIP Advances* 10, 045008 (2020).
5. Фазылов Х.Ф., Насыров Т.Х. Установившиеся режимы электроэнергетических систем и их оптимизация. – Т.: «Молия», 1999.
6. Насыров Т.Х., Гайибов Т.Ш. Теоретические основы оптимизации режимов энергосистем. – Т.: «Fan va texnologiya», 2014.
7. Гайибов Т.Ш. Оптимизация режимов энергосистем генетическими алгоритмами. Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2017. – № 1-2. – С. 43-49.
8. Gayibov T.Sh., Pulatov B.M. Optimization of Short-term Modes of Hydrothermal Power System. *E3S Web of Conferences* 209, 07014 (2020) ENERGY-21. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020907014>.