



Elektr energetika tizimi bilan parallel ishlovchi quyosh fotoelektr stansiyasi elementlarining tarkibini optimallashtirish

Tulkin Sh. Gayibov^{1,a)}, Tajiddin U. Toshev²

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

² PhD, dots., Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, 180100, O'zbekiston; t.toshev@kstu.uz <https://orcid.org/0000-0001-9260-5151>

Dolzarbli: Hozirgi inson faoliyatining barcha sohalarida elektr iste'molining yuqori suratlarda oshib borishi, uglevodorod yoqilg'isi zahirasining cheklanganligi, shuningdek, energetikaning ekologik muammolarini dolzarbli sharoiti qayta tiklanuvchan energiya resurslari, birinchi navbatda, quyosh energiyasida ishlovchi elektr stansiyalarini qurish va ishlatishni yanada samarali usullarini ishlab chiqish va joriy etishni talab etadi. Hozirgi davrda bunday stansiyalar asosidagi tizimlarni loyihalashda ularni tashkil etuvchi elementlarning optimal tarkibini aniqlash bo'yicha bir qator ishlanmalar mavjud bo'lsada ularni takomillashtirish masalasi ochiqlicha qolmoqda. Mavjud usullar asosan optimallashtirishning solishtiruvchi modellaridan fodalanishni nazarda tutganligi sababli hisil bo'luvchi natijalarning taxminiyligi, cheklovchi faktorlarni aniq hisobga olishning mumkin emasligi bilan bog'liq holda erishiluvchi samaradorlikni maksimal darajada bo'lishini ta'minlay olmaydi. Shu sababli bunday kamchiliklardan holi o'lgan optimallashtiruvchi model va algoritmlarni ishlab chiqish masalasi dolzarbligich qolmoqda.

Maqsad: Elektr energetika tizimi bilan parallel ishlovchi quyosh fotoelektr stansiyasi asosidagi tizimlarni loyihalashtirishda asosiy jihozlarning optimal tarkibini tanlash masalasining matematik modeli va uni yechish algoritmini takomillashtirish.

Usullari: optimallashtiruvchi model, xalqaro tajriba va talabni boshqarishning qiyosiy tahlil usullaridan foydalaniladi.

Natijalar: Ushbu ishda elektr energetika tizimi bilan parallel ishlovchi quyosh fotoelektr stansiyasi asosidagi tizim jihozlari tarkibini optimallashtirish masalasining takomillashgan matematik modeli va uni yechish algoritmi keltirilgan.

Kalit so'zlar: optimallashtirish, matematik model, algoritim, elektr energetika tizimi, quyosh fotoelektr stansiyasi, quyosh moduli, akkumulyator batareyasi, kapital xarajat, ishlatish xarajatlari.

For citation: Gayibov T.Sh., Toshev T.U. Optimizing the composition of the components of a photovoltaic solar power plant operating in parallel with the electric power system. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2026, no. 3(1), pp. 8-15.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.23464344>

Received: 15.03.2026
Revised: 10.04.2026
Accepted: 23.05.2026
Published: 19.10.2026

Copyright: © Tulkin Sh. Gayibov, Tajiddin U. Toshev, 2026. 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/4.0/>).

Оптимизации состава элементов солнечной фотоэлектрической станции, работающей параллельно с электроэнергетической системой

Тулкин Ш. Гайибов^{1,a)}, Тажиiddин У. Тошев²

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

² PhD, доц., Карши государственный технический университет, Ташкент, 180100, Узбекистан; t.toshev@kstu.uz <https://orcid.org/0000-0001-9260-5151>

Актуальность: Стремительный рост потребления электроэнергии во всех сферах современной человеческой деятельности, ограниченность запасов углеводородного топлива, а также актуальность экологических проблем энергетики обуславливают необходимость разработки и внедрения более эффективных методов строительства и эксплуатации электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии, прежде всего солнечной энергии. В настоящее время, несмотря на наличие различных разработок по определению оптимального состава элементов при проектировании систем на базе таких станций вопросы усовершенствования моделей и алгоритмов их решения остаются актуальными. Так как, они преимущественно опираются на оценочной модели оптимизации, вследствие чего из-за приближенного характера результатов и невозможности точного учета ограничивающих факторов, не обеспечивается максимальный от оптимизации. В связи с этим разработка моделей и алгоритмов оптимизации, лишенных указанных недостатков, остается актуальной задачей.

Цель: Совершенствование математической модели и алгоритма решения задачи выбора оптимального состава основного оборудования при проектировании систем на базе солнечных фотоэлектрических станций, работающих параллельно с электроэнергетической системой.

Методы: используются методы оптимизирующей модели, а также сравнительного анализа опыта по проектированию систем на основе возобновляемых источников энергии.

Результаты: В данной работе представлены усовершенствованная математическая модель и соответствующий алгоритм решения задачи оптимизации состава оборудования систем на базе солнечных фотоэлектрических станций, работающих параллельно с электроэнергетической системой.

Ключевые слова: оптимизация, математическая модель, алгоритм, электроэнергетическая система, сол-



нечная фотоэлектрическая станция, солнечный модуль, капиталовложение, эксплуатационные затраты.

Optimizing the composition of the components of a photovoltaic solar power plant operating in parallel with the electric power system

Tulkin Sh. Gayibov^{1,a)}, Tajiddin U. Toshev²

^{1a)} DSc, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; tulgayibov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3619-2841>

¹ PhD., assoc.prof., Karshi State Technical University, 180100 Karshi, Uzbekistan t.toshev@kstu.uz <https://orcid.org/0000-0001-9260-5151>

Relevance: The rapid growth in electricity consumption across all areas of modern human activity, the limited reserves of hydrocarbon fuels, and the growing urgency of environmental problems in the energy sector necessitate the development and implementation of more efficient methods for the construction and operation of power plants based on renewable energy resources, particularly solar energy. Currently, despite the existence of various approaches to determining the optimal component configuration when designing systems based on such stations, the need to refine the underlying models and algorithms remains pressing. Existing methods rely primarily on optimization models that yield approximate results and fail to precisely account for limiting factors, thereby preventing the achievement of a truly optimal outcome. Consequently, developing optimization models and algorithms that overcome these shortcomings remains a relevant task.

Aim: Refinement of the mathematical model and solution algorithm for selecting the optimal configuration of major equipment when designing systems based on solar photovoltaic plants operating in parallel with the electric power grid.

Methods: Optimization modeling methods are employed, alongside a comparative analysis of experience in designing systems based on renewable energy sources.

Results: This paper presents an improved mathematical model and a corresponding algorithm for optimizing the equipment configuration of systems based on solar photovoltaic power plants operating in parallel with the electric power system.

Keywords: optimization, mathematical model, algorithm, electric power system, photovoltaic power plant, solar module, capital investment, operating costs.

1. Kirish (Introduction)

Hozirgi davrda butun Jahonda, shu jumladan O'zbekiston Respublikasida fotoelektr stansiyalarini rivojlantirish va elektr energetika tizimi (EET)ga joriy etish bo'yicha ishlar yuqori suratlarda olib borilmoqda. Bunday tadbirlarning muhimligi, birinchi navbatda, elektr energiya iste'molchilarining zahirasi yuqori suratlarda kamayib borayotgan uglevodorod yoqilg'isiga bog'liqlik darajasini kamaytirish hamda tobora muhim tus olayotgan ekologik muammolarni hal etish zarurligi bilan bog'liq. EETga elektr energiyaning bunday manbalarini joriy etish ularni loyihalash va taraqqiy ettirishning mos progressiv usullarini yaratish va foydalanishni talab etadi.

Fotoelektr stansiyalarni loyihalashda hal etiluvchi asosiy masalalardan biri ularning elementlarini optimal tarkibini tanlash hisoblanadi. Bunday masalani yechish natijasida quyosh panellari, akkumulyator batareyalari va boshqa boshqarish, qayd etish, bog'lash kabi vazifalarni bajaruvchi jihozlarni tiplari va sonlari aniqlanadi. Hozirgi davrda har xil ishlab chiqaruvchilar tomonidan bunday jihozlarning, umumiy holatda, xususiy parametrlari, sifati, ishonchliligi va iqtisodiy ko'rsatkichlari, meyoriy xizmat ko'rsatish davri kabilar bilan farq qiluvchi turli tiplari yaratilib, taklif etilmoqda. Bunday sharoitlarda elementlarning tarkibini sarflanuvchi umumiy kapital xarajatlar yoki ishlatish davrining bir kuni bo'yicha ma'lumotlar asosida tanlash optimal natijani bermaydi. Shu sababi ushbu masalani hal etish tizimning bir (yoki bir necha) yil yoki yilning turli davrlaridagi xarakterli kunlar bo'yicha ma'lumotlardan foydalanish asosida amalga oshirilishi zarur.

Hozirgi davrda ko'rilayotgan tipdagi masalani yechish algoritmi bo'yicha bir qator ishlanmalar mavjud [1-11]. Bu ishlar, shubhasiz, ushbu masalani yechishning nazariyasi va usullarini taraqqiy ettirishda katta hissa qo'shgan. Shu bilan bir qatorda bu model va algoritmlardan ushbu ishda ko'rilayotgan masalalarni hal etishda bevosita foydalanish muayyan qiyinchiliklarni keltirib chiqaradi.

Ko'rilayotgan masalani samarali yechish bo'yicha muhim natijalar [8] da keltirilgan. Unda quyosh, shamol stansiyalari va akkumulyator batareyasidan iborat bo'lgan avtonom energetika tizimi elementlarining optimal konfiguratsiyasini tanlash masalasining matematik modeli va uni yechish algoritmi taklif etilgan. U masalani ikkita bosqichda yechishni ko'zda tutadi. Birinchi bosqichda tizim elementlarining turli konfiguratsiyalari tanlanadi. Bu yerda maqsad funksiyasi sifatida elektr ta'minoti ishonchliligining buzilish ehtimolligi funksiyasi qabul qilingan. Ikkinchi bosqichda esa, elektr ta'minotining ishonchliligi bo'yicha chegaraviy shartni e'tiborga olgan holda optimal konfiguratsiya

tanlanadi. Ushbu model va algoritmnining boshqa mavjud usullardagiga nisbatan samarali ekanligiga qaramasdan uni hisoblashlarni bitta bosqichga keltirish orqali takomillashtirish maqsadga muvofiqdir.

Yuqoridagi holatlarni e'tiborga olib, hozirgi qayta tiklanuvchan energiya manbalari bazasidagi stansiyalar, akkumulyator batareyalari va boshqa – boshqarish, qayd etish, bog'lash qurilmalarining yuqori suratlardagi taraqqiyoti hamda ularning xarakteristikalarini mos tarzda o'zgarishi sharoitida ularning tarkibini optimallashtirish samarali usullarini ishlab chiqish hamda mavjud model va algoritmlarni yanada takomillashtirish muhim masalalardan biri hisoblanadi.

Ushbu ishda elektr energetika tizimi bilan parallel ishlovchi quyosh fotoelektr stansiyasi va akkumulyator batareyalarini o'z ichiga oluvchi tizim elementlarining optimal konfiguratsiyasini tanlash masalasining takomillashtirilgan matematik modeli va uni yechish algoritmi taklif etilgan.

2. Usullar va materiallar (Methods and materials)

Ushbu ishda uning mualliflari tomonidan [11] keltirilgan avtonom holda ishlovchi quyosh fotoelektr stansiyasi asosidagi tizim elementlarining optimal tarkibini tanlash modelini takomillashtirish asosida elektr energetika tizimi bilan parallel ishlovchi quyosh fotoelektr stansiyasi va u asosidagi tizimning asosiy jihozlari tarkibini optimallashtirish masalasining matematik modeli uni yechish algoritmi keltirilgan. Har bir tashkil etuvchi elementning matematik modeli va ular ustida mos soddalashtirish amallarini bajarish natijasida ko'rilayotgan masalanin quyidagi ko'rinishdagi matematik modeli hosil qilindi. Unga muvofiq

maqsad funksiyasi – quyosh modullari, akkumulyator batareyalari, inverterlar, bog'lovchi o'tkazgichlar va elektr tarmog'idan olinuvchi elektr energiya bilan bog'liq meyoriy xizmat ko'rsatish davriga keltirilgan xarajatlari (mos holda $3_{pv}, 3_{BS}, 3_{inv}, 3_{wr}, 3_{ee}$) ning yig'indisi:

$$3 = 3_{pv} + 3_{BS} + 3_{inv} + 3_{wr} + 3_{ee} = (1 + k_{pv.O\&M}) \cdot c_{pv1} \cdot n_{pv.ser} \cdot n_{pv.par} + (c_{BS1} + c_{BS1.rep}) \cdot n_{BS.ser} \cdot n_{BS.par} + (1 + k_{inv.O\&M}) \cdot c_{inv1} \cdot n_{inv} + 3_{wr} + \sum_{t=1}^T c_{ee}^{(t)} \cdot P_{net}^{(t)} \rightarrow \min; \quad (1)$$

chegaraviy shartlar – meyoriy xizmat ko'rsatish davrining har bir vaqt intervalida aktiv quvvat balansi:

$$\eta_{inv} \cdot P_{pv}^{(t)} + \eta_{inv} \cdot P_{BS}^{dch(t)} + P_{net}^{(t)} = P_L^{(t)} + \eta_{inv} \cdot P_{BS}^{ch(t)}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (2)$$

ko'rilayotgan davr davomida akkumulyator batareyasida energiya balansi:

$$\sum_{t=1}^T P_{BS}^{ch(t)} - \sum_{i=1}^T \frac{P_{BS}^{dch(t)}}{\eta_{BS}} = 0; \quad (3)$$

tengsizlik ko'rinishidagi chegaraviy shartlar – akkumulyator batareyasining maksimal zar-yadlanish va razryadlanish quvvatlari bo'yicha:

$$0 \leq P_{BS}^{ch(t)} \leq P_{1BS}^{ch,max} \cdot n_{BS.ser} \cdot n_{BS.par}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (4)$$

$$0 \leq P_{BS}^{dch(t)} \leq P_{1BS}^{dch,max} \cdot n_{BS.ser} \cdot n_{BS.par}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (4a)$$

akkumulyator batareyasining maksimal sig'imi va ruxsat etilgan razryadlanish chuqurligi bo'yicha:

$$(1 - \alpha) \cdot W_{1BS}^{max} \cdot n_{BS.ser} \cdot n_{BS.par} \leq W_b + \sum_{i=1}^t P_{BS}^{ch(i)} - \sum_{i=1}^t \frac{P_{BS}^{dch(i)}}{\eta_{BS}} \leq W_{1BS}^{max} \cdot n_{BS.ser} \cdot n_{BS.par}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad (5)$$

bu yerda n_{pv} , n_{inv} – o'rnatilishi lozim bo'lgan quyosh modullari va inverterlar soni; $n_{pv.ser}$, $n_{pv.par}$ – quyosh modullarining bitta shoxobchada ketma-ket ulanuvchi va har birida shunchasidan modul ketma-ket ulanuvchi shoxochalar soni; $n_{BS.ser}$, $n_{BS.par}$ – akkumulyator batareyasida bitta shoxobchada ketma-ket ulanuvchi va har birida shunchadan akkumulyator ketma-ket ulanuvchi shoxochalar soni; $k_{pv.O\&M}$, $k_{inv.O\&M}$ – bitta quyosh moduli va bitta inverter bo'yicha solishtirma ishlatish xarajatlari; c_{BS1} , $c_{BS1.rep}$ – bitta quyosh moduli va bitta inverter uchun solishtirma capital xarajatlari; c_{BS1} , $c_{BS1.rep}$ – bitta akkumulyator uchun solishtirma kapital va uni almashtirish xarajatlari; 3_{ee} – meyorlangan xizmat ko'rsatish davri davomida elektr tarmog'idan olinuvchi elektr energiyasining umumiy narxi; $c_{ee}^{(t)}$, $P_{net}^{(t)}$ – ko'rilayotgan davrning t - vaqt intervalida tarmoqdan olinuvchi elektr energiyasining solishtirma narxi va quvvati; η_{inv} , $\eta_{BS}^{(t)}$ – inverting va akkumulyator batareysining t - chi vaqt intervalidagi foydali ish ko'effitsienti; $P_{BS}^{ch(t)}$, $P_{BS}^{dch(t)}$, $P_{1BS}^{ch,max}$, $P_{1BS}^{dch,max}$ – akkumulyator batareyasining t -chi vaqt intervalidagi zar-yadlanish va razryadlanish quvvatlari hamda bitta akkumulyatorning ruxsat etilgan maksimal zar-

yadlanish va razryadlanish quvvatlari; $W_{BS}^{\max}$, α - batareyadagi bitta akkumulyatorning maksimal sig'imi va ruxsat etilgan maksimal razryadlanish chuqurligi; W_b - ko'rilayotgan davrning boshlanishida akkumulyator batareyasidagi qoldiq zaryad energiyasi.

Yuqoridagi modeldan foydalanish asosida jihozlarning tarkibini optimallashtirish uchun taklif etilayotgan algoritmgga ko'ra bayon etilgan masala quyosh modullari, inverterlar va akkumulyator batareyalarining xar xil mumkin bo'lgan tiplari uchun ketma-ket tartibda alohida yechiladi. So'ngra hosil bo'lgan jihozlarning tiplari va mos holda elementlarning turlicha tarkibi bilan farqlanuvchi shartli-optimal yechimlarni iqtisodiy jihatdan o'zaro solishtirish asosida ya'gona – eng optimal yechim aniqlanadi. Jihozlarning har bir tanlangan tiplari muajasi uchun quyidagi amallar bajariladi:

- tanlangan tipdagi invertorga kirish kuchlanishi $U_{inv.in.}$, bitta quyosh modulining salt ishlash kuchlanishi $U_{pv.oc}$, bitta akkumulyatorning kuchlanishi U_{BS} bo'yicha bittadan shoxobchalar ketma-ket ulanuvchi quyosh modullari soni $n_{pv.ser}$, va akkumulyatorlar soni $n_{BS.ser}$ larni aniqlash va ularni butun songa yaxlitlash;

- maqsad funksiyasi (1) da noma'lumlarning koeffitsiyentlarini hisoblash;

- tenglik va tengsizlik ko'rinishidagi chegaraviy shartlarda noma'lumlarning koeffitsiyentlarini hisoblash;

- hosil bo'lgan chiziqli dasturlash masalasi (1)-(5) ni chiziqli dasturlash usuli yordamida yechish orqali quyosh panellari va akkumulyator batareyasi sxemasida parallel ulanuvchi modulli va akkumulyatorli shoxobchalar sonlari $n_{pv.par}$, $n_{BS.par}$ ni hamda akkumulyator batareyasining har bir vaqt intervalidagi zaryadlanish va razryadlanish quvvatlari $P_{BS}^{ch(t)}$, $P_{BS}^{dch(t)}$ larni aniqlash;

- parallel ulanuvchi inverterlar soni n_{inv} ni yuklamaning maksimal quvvati va bitta invertorning nominal quvvati bo'yicha aniqlash;

- stansiyaning iqtisodiylik ko'rsatkichlari – sarflanuvchi boshlang'ich kapital xarajatlar, ishlatish davomidagi ko'shimcha xarajatlar va bular asosida tanlangan meyoriy xizmat ko'rsatish davriga keltirilgan umumiy xarajatlar 3 ni hisoblash.

Keltirilgan algoritm bo'yicha optimallashtirishda har mavsum uchu xarakterli sutkalik yuklama va quyosh radiatsiyasining solishtirma quvvati grafiklariga mos tarzda turli xil yechimlar hosil bo'ladi. Keltirilgan meyoriy ishlatish davri uchun ya'gona optimal yechimni aniqlash har bir mavsum bo'yicha ma'lumotlar asosida optimallashtirish natijalaridan foydalanish orqali amalga oshiriladi. Bunda avvalo, yilning har bir mavsumi i ni xarakterli sutkalari uchun ma'lumotlar asosida yuqoridagi algoritm bo'yicha masalani yechish orqali 4 ta shartli-optimal yechimlar hamda ularga mos meyoriy ishlatish davriga keltirilgan umumiy xarajatlar $3_{0,i}$, ya'ni $3_{0,qish}$, $3_{0,bahor}$, $3_{0,yoz}$, $3_{0,kuz}$ lar aniqlanadi. Yakuniy optimal yechimni aniqlash esa ular orasidan eng optimalani tanlashga keltiriladi. Bunda har bir i mavsum uchun hosil bo'lgan jihozlarning optimal tarkibida, alohida boshqa j mavsumlarning xarakterli sutkalari yuklama grafiklarini optimal qoplash masalalari yechiladi. Natijada mos mavsumlarda elektr tarmog'idan olinuvchi qo'shimcha elektr energiyasi miqdorlari W_{ij} va ularning narxlar $3_{ee,ij}$ aniqlanadi. Qo'shimcha elektr energiya sarfining narxlar $3_{ee,ij}$ lar bo'yicha mos matritsa shakllantiriladi. So'ngra har bir mavsum uchun mos $3_{0,i}$ larga matritsaning mos qatorlaridagi qo'shimcha elektr energiyasi iste'moli bilan bog'liq xarajatlar $3_{ee,ij}$ ni qo'shish asosida har bir mavsum uchun keltirilgan umumiy xarajatlar 3_i lar aniqlanadi: $3_i = 3_{0,i} + \sum_j 3_{ee,ij}$, $i, j = qish, bahor, yoz, kuz$.

Alohida mavsumlar uchun hosil bo'lgan keltirilgan umumiy xarajatlarning eng kichigiga mos keluvchi shartli optimal yechim masalaning absolyut optimal yechimi sifatida qabul qilinadi.

Taklif etilgan model va algoritmnining samaradorligi [12] da ko'rib o'tilgan misolda tadqiq qilindi. Qashqadaryo viloyatining Yakkabog' tumanidagi punktda yuklama va quyosh radiatsiyasining barcha mavsumlar uchun hisoblashlarda foydalanilgan solishtirma quvvat grafiklari [12] dagi 1- jadvalda keltirilgan. Tashqi elektr tarmog'idan sotib olinuvchi elektr energiyasining solishtirma narxi 900 so'm/kW.soat yoki AQSH dollarining so'mga nisbatan amaldagi kursi bo'yicha hisoblanganda 0,07031 \$/kW.soat qabul qilindi.

1- jadvalda yilning har bir mavsumini xarakterli sutkalari uchun yuklama va quyosh radiatsiyasining solishtirma quvvat grafiklari bo'yicha jihozlarning optimal tarkibini tanlash masalalarini taklif etilgan model va algoritm yordamida yechish natijalari hamda ularga mos meyoriy xizmat ko'rsatish davriga keltirilgan umumiy xarajatlarning qiymatlari keltirilgan. 2-jadvalda har bir mavsum kesimida tanlangan jihozlarning maksimal konfiguratsiyasi uchun quyosh modullarining ishlab chiqarish quvvati, akkumulyator batareyalarining zaryadlanish va razryadlanish jarayonlari hamda elektr tarmog'idan olinadigan quvvat grafiklari keltirilgan. Bundan tashqari, 1-rasmda mazkur grafiklarning illyustrativ tasviri, ya'ni akkumulyator batareyasi zaryadlanish va razryadlanish quvvatlari o'rtasidagi farq ko'rinishida ifodalangan..

Jadval 1. Yil mavsumlari bo'yicha jihozlarning shartli-optimal tarkibi.

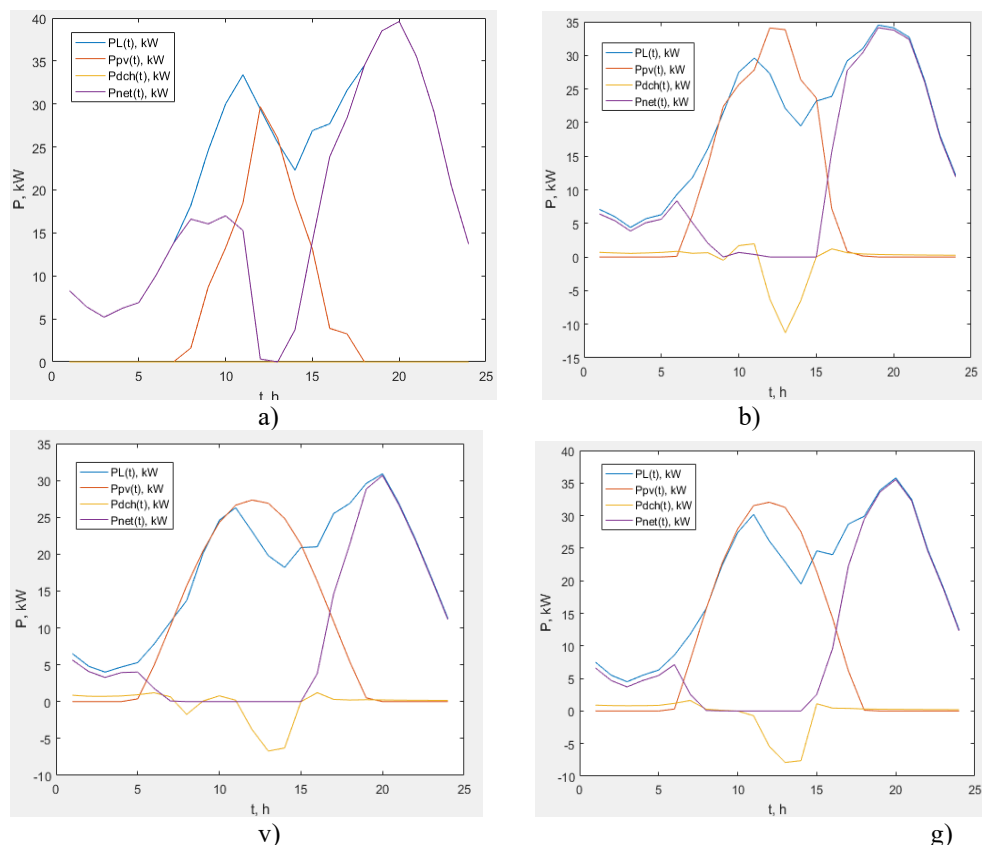
Table 1. Conditionally optimal composition of equipment by season of the year.

Mavsum	n_{pv} , dona	n_{ab} , dona	n_{inv} , dona	3, \$
Qish	145	0	3	329257,8
Bahor	115	20	4	243826,4
Yoz	65	20	3	172063,1
Kuz	100	20	4	226548,2

Jadval 2. Yil mavsumlarining xarakterli sutkalari uchun jihozlarning tanlangan optimal tarkibida quyosh modullarining umumiy, akkumulyator batareyasining zaryadlanish va razryadlanish hamda elektr tarmog'dan olinuvchi quvvat grafiklari (kW da).

Table 2. Power profiles (in kW) of the selected optimal equipment configuration for characteristic days of each season, including the total power of the photovoltaic modules, battery charging and discharging power, and power drawn from the electrical grid.

Qish mavsumi, $n_{pv}=145$, $n_{ab}=0$, $n_{inv}=3$												
t , soat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P_{pv}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,626	8,717	13,27	18,47	29,66
P_{BS}^{ch}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P_{BS}^{dch}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P_{net}	8,3	6,4	5,2	6,2	6,9	10,1	13,8	16,61	16,06	17,00	15,29	0,33
t , soat	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P_{pv}	26,02	18,93	13,14	3,90	3,25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P_{BS}^{ch}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P_{BS}^{dch}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P_{net}	0,0	3,749	14,02	23,87	28,41	34,50	38,50	39,60	35,50	29,10	20,50	17,70
Bahor mavsumi, $n_{pv}=115$, $n_{ab}=20$, $n_{inv}=4$												
t , soat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P_{pv}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,104	6,244	13,684	22,425	25,651	27,836	34,079
P_{BS}^{ch}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,486	0,0	0,0	24,970
P_{BS}^{dch}	0,70	0,61	0,55	0,61	0,69	0,85	0,56	0,65	0,0	1,70	1,98	18,75
P_{net}	6,41	5,40	3,87	5,10	5,62	8,36	5,14	2,05	0,0	0,69	0,38	0,0
t , soat	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P_{pv}	33,82	26,38	23,67	7,18	0,83	0,16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P_{BS}^{ch}	24,97	24,97	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P_{BS}^{dch}	13,70	18,49	0,0	1,23	0,64	0,46	0,39	0,35	0,32	0,30	0,28	0,27
P_{net}	0,0	0,0	0,0	15,66	27,75	30,39	34,12	33,76	32,38	26,01	17,72	11,94
Yoz mavsumi, $n_{pv}=65$, $n_{ab}=20$, $n_{inv}=3$												
t , soat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P_{pv}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,38	4,91	10,26	15,72	20,43	24,30	26,64	27,38
P_{BS}^{ch}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,19	0,75	0,65	0,87	17,44
P_{BS}^{dch}	0,88	0,73	0,73	0,77	0,94	1,21	0,67	0,45	0,83	1,45	1,06	13,68
P_{net}	5,64	4,08	3,29	3,94	4,01	1,80	0,09	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
t , soat	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P_{pv}	26,90	24,85	21,33	16,33	10,87	5,37	0,52	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P_{BS}^{ch}	17,44	17,44	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P_{BS}^{dch}	10,74	11,16	0,0	1,22	0,31	0,22	0,26	0,23	0,20	0,18	0,17	0,17
P_{net}	0,0	0,0	0,0	3,802	14,55	21,42	28,83	30,67	26,71	21,92	16,63	11,14
Kuz mavsumi, $n_{pv}=100$, $n_{ab}=20$, $n_{inv}=4$												
t , soat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P_{pv}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,309	7,806	15,65	22,62	27,96	31,53	32,06
P_{BS}^{ch}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,766	21,82
P_{BS}^{dch}	0,90	0,84	0,81	0,82	0,86	1,18	1,62	0,28	0,11	0,0	4,05	16,39
P_{net}	6,62	4,68	3,70	4,70	5,45	7,14	2,57	0,08	0,02	0,0	0,0	0,0
t , soat	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P_{pv}	31,27	27,52	21,39	14,24	6,17	0,13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P_{BS}^{ch}	21,82	21,82	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P_{BS}^{dch}	13,92	14,20	1,12	0,44	0,41	0,32	0,28	0,26	0,24	0,23	0,22	0,21
P_{net}	0,0	0,0	2,54	9,61	22,25	29,46	33,63	35,55	32,26	24,68	18,79	12,30



— $P_L(t)$ - iste'molchining quvvati. — $P_{w(t)}$ - quyosh modullari ishlab chiqaruvchi quvvatlari. — $P_{dch(t)}$ - akkumulyator batareyasining razryadlanish va zaryadlanish quvvatlari. — $P_{net(t)}$ - tarmoqdan olinuvchi quvvati.

Rasm. 1. Yilning qish (a), bahor (b), yoz (v) va kuz (g) mavsumlarining xarakterli sutkalari uchun tanlangan jihozlarning optimal tarkibida quyosh modullari, akkumulyator batareyasi (razryadlanish va zaryadlanish quvvatlari ayirmasi) hamda elektr tarmog'idan olinuvchi quvvat grafiklari.

Fig. 1. Power profiles of the selected optimal equipment configuration for characteristic days of the winter (a), spring (b), summer (c), and autumn (d) seasons of the year, including photovoltaic modules, the battery (the difference between charging and discharging powers), and the power drawn from the electrical grid.

3. Natijalar va muhokama (Results and discussion)

3- jadvalda yuqorida keltirilgan algoritmg muvofiq har bir mavsum uchun aniqlangan shartli-optimal jihozlar tarkibida ularni sotib olish, o'rnatish va ishlatish bilan bog'liq bo'lgan meyoriy xizmat ko'rsatish davriga keltirilgan umumiy xarajatlar $3_{0,i}$, mavsumlarning xarakterli sutkalaridagi yuklama grafiklarini qoplash natijasida aniqlangan tarmoqdan olinuvchi qo'shimcha elektr energiyasi sarfi bilan bog'liq xarajalar, ulardan foydalanib (ularni qo'shish asosida) aniqlangan jami keltirilgan xarajalar 3_i hamda jihozlarning turli mavsumlarning ma'lumotlari asosida aniqlangan shartli-optimal tarkibida elektr energiyasi ishlab chiqarishning o'rta tan narxlar C_i lar berilgan.

Jadval 3. Yil mavsumlari uchun meyoriy ishlatish davriga keltirilgan umumiy xarajatlarni hisoblash natijalari.

Table 3. Results of calculating the total costs reduced to the standard operating period for different seasons of the year.

Mavsum	$3_{0,i}$, \$	Elektr tarmog'idan olinuvchi elektr energiyani qoplash xarajatlari (mavsumlar bo'yicha), \$				3_i , \$	C_i , \$/kW.soat
		Qish	Bahor	Yoz	Kuz		
Qish	70119,1	65008,9	54575,9	39909,6	50521,3	280134,8	0,06396
Bahor	68712,8	69420,8	44222,7	31351,8	40827,7	254535,8	0,05812
Yoz	44613,6	76773,9	57555,3	31351,8	52910,9	263205,5	0,06010
Kuz	62177,2	71626,7	47363,3	31351,8	40827,7	253346,7	0,05785

Jami keltirilgan xarajatlar 3_i ni solishtirish asosida uning minimalligi bo'yicha absolyut optimal yechim, ya'ni jihozlarning optimal tarkibi tanlanadi. Bunga mos holda 3_i ning qiymati eng kichik bo'lgan kuz mavsumining xarakterli sutkasi uchun amalga oshirilgan hisoblashlar natijasida hosil bo'lgan yechim qabul qilinadi:

$$n_{pv}=100 \text{ dona}, n_{ab}=20 \text{ dona}, n_{inv}=4 \text{ dona}, 3_{min}=253346,7 \$.$$

Shunday qilib, keltirilgan model va algoritmi jihozlarning optimal tarkiblarini katta aniqlikda hisoblash imkonini beradi. Ko'rib o'tilgan misolda jihozlarning aniqlangan optimal tarkibida keltirilgan umumiy xarajatlar ularning boshqa mavsumlar uchun aniqlangan qiymatlariga nisbatan 0,33-10,6 % ga kam ekanligiga ishonch hosil qilamiz.

4. Xulosa (Conclusion)

1. Elektr energetika tizimi bilan parallel ishlovchi quyosh fotoelektr stansiyasi va akkumulyator batareyasi asosida tizimni loyihalashtirishda jihozlarning optimal tarkibini tanlash masalasining optimallashtiruvchi modeldan foydalanish uchun mo'ljallangan matematik modeli taklif etildi.

2. Elektr energetika tizimi tarkibida faoliyat ko'rsatuvchi quyosh fotoelektr stansiyasi va akkumulyator batareyasi bazasidagi tizim jihozlari tarkibini optimallashtirishning chiziqli dasturlash usulidan foydalanishga asoslangan algoritmi taklif etildi.

3. Maqolada taklif etilgan model va algoritmi samaradorligi Qashqadaryo viloyatining Yakkabog' tumanidagi punktda yillik quyosh radiatsiyasi grafigi ma'lumotlari bo'yicha amalga oshirilgan hisoblashlar asosida tadqiq qilindi. Natijalar, mazkur model va algoritmi katta aniqlikdagi optimal natijani ishonchli aniqlash imkonining ta'minlanishini ko'rsatdi.

ADABIYOTLAR

1. Zhang J., Wei H. A review on configuration optimization of hybrid energy system based on renewable energy // *Frontiers in Energy Research*. – 2022. URL: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.977925>

2. Lanre O. Optimal configuration assessments of hybrid renewable power supply for rural healthcare facilities // *Energy Reports*. – 2016. - Vol. 2. - P. 141-146. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2016.06.001>

3. Mas'ud A. A., Al-Garni H. Z. Optimum Configuration of a Renewable Energy System Using Multi-Year Parameters and Advanced Battery Storage Modules // *A Case Study in Northern Saudi Arabia*. – 2021. 13(9). 5123. URL: <https://doi.org/10.3390/su13095123>

4. Wang Z., Jia Y., Yang Y., Cai Ch., Chen Y. Optimal Configuration of an Off-Grid Hybrid Wind-Hydrogen Energy System // *Comparison of Two Systems*. *Energy Engineering*. – 2021. 118. 1641-1658. DOI: [10.32604/EE.2021.017464](https://doi.org/10.32604/EE.2021.017464)

5. SUN Q. Optimal Configuration of Standalone Wind-Solar-Storage Complementary Generation System Based on the GA-PSO Algorithm // *Journal of Power Technologies*. -2019. [S.l.]. Vol. 99 - №. 4. - P. 231-236. dec. 2019. ISSN 2083-4195. Available at. URL: <https://papers.its.pw.edu.pl/index.php/JPT/article/view/1617>. (Date accessed 30 june 2024).

6. Ghayoor F., Swanson A. G., Sibanda H. Optimal sizing for a grid-connected hybrid renewable energy system. A case study of the residential sector in Durban. South Africa. *J. energy South. Afr.*, Cape Town. Nov. 2021. Vol. 32. - № 4. - P. 11-27. URL: <http://dx.doi.org/10.17159/2413-3015/2021/v32ia8362>.

7. Freire-Gormaly M., Bilton A. M. Optimization of Renewable Energy Power Systems for Remote Communities // *Proceedings of the ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. Vol 2A. 41st Design Automation Conference. Boston Massachusetts USA. August 2-5. 2015. V02AT03A030. ASME. URL: <https://doi.org/10.1115/DETC2015-47509>

8. Christoph K., Shivenes S., Verena F., Dominik P., Aschkhan D. M., Thomas S. Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies. - 2021. DOI: [10.13140/RG.2.2.22457.08800](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22457.08800)

9. Гайи́бов Т. Выбор оптимальных параметров солнечных фотоэлектрических станций и аккумуляторов в распределительных электрических сетях // Сборник материалов международной онлайн конференции. Тенденции развития современной физики полупроводников. НИИ Физика полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистан. - 2020. - С. 237-242. www.e-science.uz.

10. Gayibov T., Fayziyev M., Toshev T. Tarkibida qayta tiklanuvchan energiya manbalarida ishlovchi elektr stansiyalari mavjud bo'lgan elektr energetika tizimlarining rejimlarini optimallashtirish // *Innovatsion Texnologiyalar*. – 2022. - № 47(4). – B. 26-29. URL: <https://ojs.qmii.uz/index.php/it/article/view/100>



11. Gayibov T., Toshev T. (2023). Quyosh fotoelektr stansiyalari elementlarining optimal tarkibini tanlash masalasining matematik modeli va uni yechish algoritmi // *Innovatsion Texnologiyalar*. - 2023. - № 50(02). – B. 13–21. URL: <https://ojs.qmii.uz/index.php/it/article/view/415>
12. Гайибов Т. Ш., Тошев Т. У. Автоном куёш фотоэлектр тизимларининг таркибини оптималлаштириш // *Энергия ва ресурс тежаш муаммолари журналы*. - 2023. Махсус сон - № 84. – Б. 292-298.

REFERENCES

1. Zhang J., Wei H. A review on configuration optimization of hybrid energy system based on renewable energy. *Frontiers in Energy Research*, 2022, Available at: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.977925>
2. Lanre O. Optimal configuration assessments of hybrid renewable power supply for rural healthcare facilities. *Energy Reports*, 2016, Vol. 2, pp. 141-146. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2016.06.001>
3. Mas'ud A. A., Al-Garni H. Z. Optimum Configuration of a Renewable Energy System Using Multi-Year Parameters and Advanced Battery Storage Modules. A Case Study in Northern Saudi Arabia. *Sustainability*, 2021, vol. 13(9):5123. Available at: <https://doi.org/10.3390/su13095123>
4. Wang Z., Jia, Y., Yang Y., Cai C., Chen Y. Optimal Configuration of an Off-Grid Hybrid Wind-Hydrogen Energy System. *Comparison of Two Systems. Energy Engineering*, 2021. no. 118. pp. 1641-1658. DOI:[10.32604/EE.2021.017464](https://doi.org/10.32604/EE.2021.017464)
5. SUN Q. Optimal Configuration of Standalone Wind–Solar–Storage Complementary Generation System Based on the GA-PSO Algorithm. *Journal of Power Technologies*, 2019, [S.l.], vol. 99, no. 4, pp. 231–236. Available at: <https://papers.its.pw.edu.pl/index.php/JPT/article/view/1617> (Date accessed 30 June 2024).
6. Ghayoor F., Swanson A. G., Sibanda H. Optimal sizing for a grid-connected hybrid renewable energy system. A case study of the residential sector in Durban, South Africa. *J. energy South. Afr.*, Cape Town, Nov. 2021.vol. 32. no. 4. pp. 11-27. Available at: <http://dx.doi.org/10.17159/2413-3015/2021/v32ia8362>
7. Freire-Gormaly M., Bilton A. M. Optimization of Renewable Energy Power Systems for Remote Communities." *Proceedings of the ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Vol. 2A. 41st Design Automation Conference*. Boston, Massachusetts, USA. August 2–5, 2015. V02AT03A030. ASME. <https://doi.org/10.1115/DETC2015-47509>
8. Christoph K., Shivenes S., Verena F., Dominik P., Aschkhan D. M., Thomas S. Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies, 2021, Available at: DOI:[10.13140/RG.2.2.22457.08800](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22457.08800)
9. Gayibov T. Selection of optimal parameters of solar photovoltaic stations and batteries in electrical distribution networks // Collection of materials of the international online conference “Development trends of modern semiconductor physics”. Research Institute of Physics of Semiconductors and Microelectronics at the National University of Uzbekistan, 2020, pp. 237-242. www.e-science.uz.
10. Gayibov T.Sh., Fayziev M.M., Toshev T.U. Optimizing the regimes of electric power systems, which include power plants operating on renewable energy sources. *Innovative Technologies*, 2022, Special issue. pp. 26-29 Available at: <https://ojs.qmii.uz/index.php/it/article/view/100>
11. Gayibov T., Toshev T. (2023). Mathematical model of the problem of selecting the optimum composition of the elements of solar photoelectric plants and the algorithm for its solution. *Innovative Technologies*, 2023, 50(02), pp. 13–21. Available at: <https://ojs.qmii.uz/index.php/it/article/view/415>
12. Gayibov T.Sh., Toshev T.U. Optimization of the composition of autonomous solar photovoltaic systems. *Journal of energy and resource conservation issues*, 2023, Special issue no. 84, pp. 292-298.