

UO‘K 621.311.1

QUYOSH FOTOELEKTR STANSIYALARI ELEMENTLARINING OPTIMAL TARKIBINI TANLASH MASALASINING MATEMATIK MODEL VA UNI YECHISH ALGORITMI

Gayibov Tulkin Shernazarovich¹- texnika fanlari doktori, professor,
e-mail: tulgayibov@gmail.com

Toshev Tajiddin Ungboyevich² – katta o‘qituvchi, e-mail: tojiddin20.02.85@gmail.com

¹Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent sh., O‘zbekiston
²Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, Qarshi sh., O‘zbekiston

***Annotatsiya.** Hozirgi davrda butun Jahonda, shu jumladan O‘zbekiston Respublikasida, energetika sohasi taraqqiyotining asosiy yo‘nalishlaridan biri elektr energetika tizimlariga quyosh fotoelektr stansiyalarini joriy etish muammolari bilan bog‘liq. Bunday stansiyalarga ega bo‘lgan elektr tizimlarini loyihalash ularni tashkil etuvchi elementlarning optimal tarkibini uzoq muddatli foydalanish shartlarini e‘tiborga olib tanlash asosida amalga oshirilishi zarur. Hozirgi davrda ushbu muammoni hal etishga bag‘ishlangan bir qator ishlarning mavjudligiga qaramasdan elementlarning optimal tarkibini barcha ta‘sir etuvchi faktorlarni e‘tiborga olib tanlashning matematik modellari va algoritmlari yetarli darajada takomillashmagan. Ushbu maqolada akkumulyator batareyasiga ega bo‘lgan quyosh fotoelektr stansiyali avtonom elektr energetika tizimi uchun bunday masalaning matematik modeli va uni yechish algoritmi taklif etilgan.*

***Kalit so‘zlar:** fotoelektr stansiyasi, akkumulyator batareyasi, quyosh paneli, kapital mablag‘, ishlatish xarajatlari, matematik model, optimallashtirish algoritmi.*

УДК 621.311.1

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ЭЛЕМЕНТОВ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Гайибов Тулкин Шерназарович¹-доктор технических наук, профессор,
e-mail: tulgayibov@gmail.com

Тошев Тажиддин Унгбоевич² – старший преподаватель, e-mail: tojiddin20.02.85@gmail.com

¹Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент, Узбекистан
²Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан

***Аннотация.** В настоящее время во всем мире, в частности в Республике Узбекистан, одно из основных направлений развития энергетики связано с проблемами внедрения в энергосистемы солнечных фотоэлектрических станций. Проектирование электрических систем с такими станциями должно осуществляться на основе выбора оптимального состава элементов с учетом условий их долгосрочной эксплуатации. Несмотря на существование в настоящее время ряда работ, посвященных решению данной проблемы, модели и методы выбора оптимального состава элементов с учетом всех влияющих факторов не достигли своего совершенства. В данной работе предлагается новая математическая модель и алгоритм решения этой задачи для автономной электроэнергетической системы с солнечной фотоэлектрической станцией, имеющей аккумуляторную батарею.*

***Ключевые слова:** фотоэлектрическая станция, аккумуляторная батарея, солнечная панель, капиталовложение, эксплуатационные затраты, математическая модель, алгоритм оптимизации.*

UDC 621.311.1

THE MATHEMATICAL MODEL AND ALGORITHM OF SOLUTION OF THE PROBLEM OF CHOICING THE OPTIMUM COMPOSITION OF ELEMENTS OF SOLAR PHOTOVOLTAIC STATIONS

Gayibov Tulkin Shernazarovich¹ - Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: tulgayibov@gmail.com

Toshev Tajiddin Ungboevich² – senior lecturer, e-mail: tojiddin20.02.85@gmail.com

¹Tashkent State Technical University, Tashkent city, Uzbekistan

²Karshi Engineering-Economics Institute, Karshi city, Uzbekistan

Abstract. *At present, in all over the world, in particular in the Republic of Uzbekistan, one of the main directions in development of the energy sector is associated with the problems of introducing the solar photovoltaic stations into power systems. The design of electrical systems with such stations should be based on the choice of the optimal composition of elements, taking into account the conditions of their long-term operation. Despite the current existence of a number of works devoted to solving of this problem, models and methods for choosing the optimal composition of elements, taking into account all the influencing factors, have not reached their perfection. In this paper, we propose a new mathematical model and an algorithm for solving this problem for an autonomous electric power system with a solar photovoltaic station which have battery storage.*

Key words: *photovoltaic plant, battery storage, solar panel, capital investment, operating costs, mathematical model, optimization algorithm.*

Kirish

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, ishonchliliga 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 bermasligi mumkin. 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 matematik modellashtirish va uni yechish algoritmi bo‘yicha bir qator ishlanmalar mavjud [1-11]. Bu ishlar, shubhasiz, ushbu masalani yechishning nazariyasi va usullarini taraqqiy ettirishda katta hissa qo‘shishgan. Shu bilan bir qatorda bu model va algoritmlardan ushbu ishda ko‘rilayotgan masalalarni hal etishda bevosita foydalanilish muayyan qiyinchiliklarni keltirib chiqaradi.

[1] da qayta tiklanuvchan energiya manbalari asosidagi gibrid energetik tizimlarning konfiguratsiyasini optimallashtirish masalalari ko‘rib o‘tilgan. Unda ko‘rilayotgan masalaga oid adabiyotlarning sharhi keltirilib, qayta tiklanuvchan energiya manbalari asosidagi stansiyalarni integratsiyalash bo‘yicha xarakterli sxemalar, masalani modellashtirish va uni yechish bo‘yicha asosiy yondoshuvlar qayd etilgan. [2] da esa Nigeriyaning qishloq hududlarida joylashgan uchta

sogʻliqni saqlash klinikalarini elektr energiyasi bilan taʼminlash boʻyicha quyosh, shamol va dizel stansiyalaridan tashkil topuvchi avtonom gibril energetik tizim konfiguratsiyasini baholash natijalari berilgan. Saudiya Arabistonining muayyan tumanida quyosh, shamol, dizel stansiyalari va akkumulyator batareyasidan tashkil topgan tizimda optimal konfiguratsiyani tanlash boʻyicha shu kabi ish natijalari [3] da keltirilgan. Biroq ushbu ishlarda konkret matematik modellar va optimallashtirish algoritmlari keltirilmagan. [4] da shamol va vodorod qurilmalari asosidagi avtonom gibril EETning optimal konfiguratsiyasini aniqlash masalasi koʻrib chiqilgan. Shamol, akkumulyator va vodorod qurilmalarining modellari berilgan. Ikkita tizim uchun genetik va zarrachalar galasi (Particle swarm optimization) algoritmlari yordamida optimallashtirish natijalari keltirilgan. Biroq unda quyosh fotoelektr stansiyasining optimal konfiguratsiyasini tanlash masalasi koʻrilmagan. Ishlanma [5] akkumulyator batareyasiga ega boʻlgan quyosh-shamol qurilmasining optimal konfiguratsiyasini aniqlash masalalariga bagʻishlangan. Unda foydalanilgan matematik model va masalani ikkita sunʼiy intellekt usullari – genetik va zarrachalar galasi algoritmlari yordamida yechish natijalarini solishtirish asosida, ulardan birinchisi samarali algoritmi sifatida belgilangan. Ushbu ishda optimallashtiriluvchi parametrlar boʻlib qurilmalarning quvvatlari sanaladi. Shu sababli bu model va algoritmlarni ushbu maqolada koʻrilayotgan masalani yechishda bevosita foydalanish mumkin emas. [6] da yaʼgona EETga ulangan quyosh va shamol qurilmalari asosidagi tizimning optimal oʻlchamlarini tanlash masalasini matematik modeli va uni yechish algoritmi keltirilgan. Biroq bu model va algoritmdan qayta tiklanuvchan energiya manbalariga ega boʻlgan avtonom tizimlarning elementlarini tanlashda foydalanish mumkin emas. [7] da akkumulyator batareyasiga ega boʻlgan shamol qurilmasining ish rejimlarini optimal rejalashtirish natijalari berilgan boʻlib, unda foydalanilgan matematik model va hisoblash algoritmi yetarli tarzda bayon etilmagan.

Koʻrilayotgan masalani samarali yechish boʻyicha muhim natijalar [8] da keltirilgan. Unda quyosh, shamol stansiyalari va akkumulyator batareyasidan iborat boʻlgan avtonom energetika tizimi elementlarining optimal konfiguratsiyasini tanlash masalasining matematik modeli va uni yechish algoritmi taklif etilgan. U masalani ikkita bosqichda yechishni koʻzda tutadi. Birinchi bosqichda tizim elementlarining turli konfiguratsiyalari tanlanadi. Bu yerda maqsad funksiyasi sifatida elektr taʼminoti ishonchliligining buzilish ehtimolligi funksiyasi qabul qilingan. Ikkinchi bosqichda esa, elektr taʼminotining ishonchliligi boʻyicha chegaraviy shartni eʼtiborga olgan holda optimal konfiguratsiya tanlanadi. Ushbu model va algoritmning boshqa mavjud usullardagiga nisbatan samarali ekanligiga qaramasdan uni hisoblashlarni bitta bosqichga keltirish orqali takomillashtirish maqsadga muvofiqdir.

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

Ushbu ishda quyosh energiyasi bazasidagi fotoelektr stansiyasi va akkumulyator batareyalarini oʻz ichiga oluvchi tizim elementlarining optimal konfiguratsiyasini tanlash masalasining samarali matematik modeli va uni yechish algoritmi taklif etilgan.

Nazariy asoslar

Koʻrilayotgan tizimning prinsipl sxemasi 1- rasmda tasvirlangan.

Akkumulyator batareyasiga ega boʻlgan fotoelektr tizim elementlarining optimal konfiguratsiyasini tanlash masalasini matematik jihatdan quyidagicha shakllantirish mumkin:

- fotoelektr tizimni qurish va ishlatish bilan bogʻliq umumiy xarajatlardan iborat boʻlgan maqsad funksiyasi

$$Z = Z_{PV} + Z_{BS} + Z_{BOS} = (1 + k_{PV,OM}) \cdot C_{PV} \cdot N_{PV} + (C_{BS} + C_{BS,rep}) \cdot N_{BS} + Z_{BOS} \rightarrow \min \quad (1)$$

ni chegaraviy shartlar:

- koʻrilayotgan davr T (masalan, yil)ning har bir vaqt intervalida quvvat balansi boʻyicha

$$P_{PV}^{(t)} + P_{BS}^{dch(t)} = P_L^{(t)} + P_{BS}^{ch(t)}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \tag{2}$$

- fotoelektr qurilmaning ruxsat etilgan minimal va maksimal quvvatlari bo'yicha

$$P_{PV}^{min} \leq P_{PV}^{(t)} \leq P_{PV}^{max}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \tag{3}$$

- akkumulyator batareyasining ruxsat etilgan minimal va maksimal zaryadlanish va razryadlanish quvvatlari bo'yicha

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

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

- akkumulyator batareyasining sig'imi bo'yicha

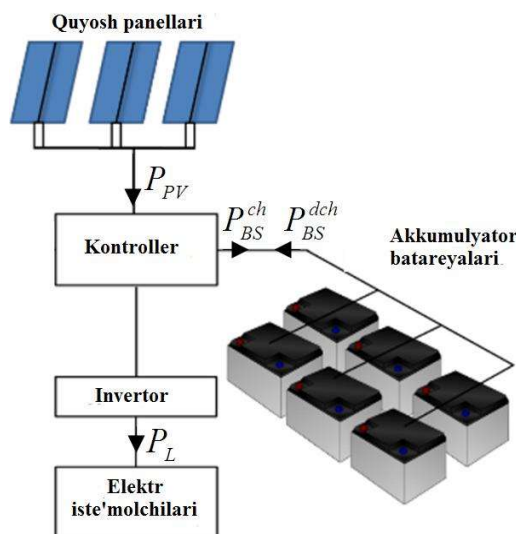
$$W_{BS}^{(t)min} \leq W_{BS}^{(t)} \leq W_{BS}^{(t)max}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \tag{5}$$

- har bir vaqt intervaligacha bo'lgan davr oralig'ida akkumulyator batareyasidan berilgan va unga qabul qilingan elektr energiyasining miqdori bo'yicha

$$W_{BS.отд.}^{(t)} \leq W_{BS.пол.}^{(t)}, \quad t = 1, 2, \dots, T \tag{6}$$

larni e'tiborga olib minimallashtirish talab etiladi.

Bu yerda T - ko'rilayotgan davr davomidagi vaqt intervallari soni; 3_{PV} , 3_{BS} , 3_{BOS} – mos holda, fotoelektr qurilmasi, akkumulyator batareyasi hamda boshqa – boshqarish, qayd etish va bog'lash qurilmalari singari jihozlarga sarflanuvchi kapital va ishlatish xarajatlari; C_{PV} , C_{BS} - mos holda, quyosh paneli va akkumulyator batareyasi uchun solishtirma kapital harajatlar; $C_{BS.rep.}$ - akkumulyator batareyasini almashtirish bilan bog'liq bo'lgan solishtirma kapital xarajatlar; $k_{PV.OM}$ – birlik quyosh paneli uchun ishlatish xarajatlari; N_{PV} , N_{BS} - mos holda, quyosh panellari va akkumulyator batareyalarining soni; $P_{PV}^{(t)}$, $P_{BS}^{ch(t)}$, $P_{BS}^{dch(t)}$ - ko'rilayotgan davrning t - chi vaqt intervalida, mos holda, fotoelektr qurilmasi hamda akkumulyator batareyasining zaryadlanish va razryadlanish quvvatlari; $P_{BS}^{ch.max}$, $P_{BS}^{dch.max}$ - akkumulyator batareyasining ruxsat etilgan maksimal zaryadlanish va razryadlanish quvvatlari; $W_{BS}^{(t)}$, $W_{BS}^{(t)min}$, $W_{BS}^{(t)max}$ - ko'rilayotgan davrning t - chi vaqt intervaliga kelganda, mos holda, akkumulyator batareyasida mavjud bo'lgan hamda ruxsat etilgan minimal va maksimal elektr energiyasi miqdori; $W_{BS.отд.}^{(t)}$, $W_{BS.пол.}^{(t)}$ - ko'rilayotgan davrning t – chi vaqt intervaliga kelganda, mos holda, razryadlanish tufayli akkumulyator batareyasidan berilgan va zaryadlanish tufayli unga qabul qilingan elektr energiyasi miqdori.



1- rasm. Quyosh energiyasi bazasidagi elektr tizimining prinsipial sxemasi

Ko‘rib o‘tilayotgan masalani yechish natijasida fotoelektr qurilmasida o‘rnatilishi zarur bo‘lgan quyosh panellarining soni N_{PV} va akkumulyator batareyalarining soni N_{BS} aniqlanadi. Shu sababli, shakllantirilgan matematik masalani yechishda keltirilgan chegaraviy shartlardagi parametrlarni ushbu noma‘lumlar orqali ifodalash maqsadga muvofiq. Fotoelektr qurilmasining t - chi vaqt intervalidagi quvvatini quyidagi formula bo‘yicha aniqlash mumkin [8]:

$$P_{PV}^{(t)} = R_{sol}^{(t)} \cdot A \cdot N_{PV} \cdot \eta_{PV}^{(t)} \cdot \eta_{El}, \quad (7)$$

bu yerda $R_{sol}^{(t)}$ - tushuvchi quyosh nurlanishining solishtirma quvvati; A - bitta quyosh paneli yuzasining maydoni; $\eta_{PV}^{(t)}$ - t - chi vaqt intervalida quyosh panelining FIKsi; η_{El} - fotoelektr tizimining ishonchli ishlashini ta‘minlash uchun xizmat qiluvchi elektronika tizimining FIKsi ([9] ga ko‘ra $\eta_{El}=0,98$).

t - chi vaqt intervaliga kelib akkumulyator batareyasida jamlangan elektr energiyasi $W_{BS}^{(t)}$ ni quyidagicha aniqlash mumkin:

$$W_{BS}^{(t)} = W_b + \sum_{i=1}^t P_{BS}^{ch(i)} - \sum_{i=1}^t P_{BS}^{dch(i)} = W_b + \sum_{i=1}^t (P_{PV}^{(i)} - P_L^{(i)}) - \sum_{i=1}^t (1 - \eta_{BS}^{(i)}) \cdot \frac{P_{BS}^{dch(i)}}{\eta_{BS}^{(i)}}, \quad (8)$$

bu yerda W_b – ko‘rilayotgan davrning boshlanishida ($t=0$ bo‘lganda) akkumulyator batareyasidagi qoldiq elektr energiyasi; $\eta_{BS}^{(i)}$ - i -chi vaqt intervalida akkumulyator batareyasining FIKsi.

Ifoda (7) ni e‘tiborga olgan holda chegaraviy shart (3) ni quyidagi ko‘rinishda tasvirlash mumkin:

$$P_{1PV}^{min} \cdot N_{PV} \leq R_{sol}^{(t)} \cdot A \cdot N_{PV} \cdot \eta_{PV}^{(t)} \cdot \eta_{El} \leq P_{1PV}^{max} \cdot N_{PV}, \quad (3a)$$

bu yerda P_{1PV}^{min} , P_{1PV}^{max} - birlik qo‘yosh panelining ruxsat etilgan minimal va maksimal quvvatlari.

Tengsizlik (3a) ni har ikkala tomonini N_{PV} ga bo‘lish orqali quyosh panellarining soniga bog‘liq bo‘lmagan shartni hosil qilamiz. Bu chegaraviy shart (3) ning ko‘rilayotgan masalani yechimiga ta‘sir etmasligini ko‘rsatadi. Ushbu holatda quyosh panellarining sonini o‘zgarishi ushbu chegaraviy shartning bajarilishiga ta‘sir etmaydi. Shu sababli masalaning matematik modelida ushbu chegaraviy shartdan voz kechish mumkin.

Akkumulyator batareyasining zaryadlanish va razryadlanish quvvatlarini quvvat balansi sharti (2) dan ifodalash orqali chegaraviy shartlar (4) va (4a) ni quyidagicha tasvirlash mumkin:

$$P_{PV}^{(t)} - P_L^{(t)} \leq P_{1BS}^{ch,max} \cdot N_{BS}, \quad t = 1, 2, \dots, T,$$

$$-P_{PV}^{(t)} + P_L^{(t)} \leq P_{1BS}^{dch,max} \cdot N_{BS}, \quad t = 1, 2, \dots, T$$

yoki

$$R_{sol}^{(t)} \cdot A \cdot N_{PV} \cdot \eta_{PV}^{(t)} \cdot \eta_{El} - P_{1BS}^{ch,max} \cdot N_{BS} \leq P_L^{(t)}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad (9)$$

$$-R_{sol}^{(t)} \cdot A \cdot N_{PV} \cdot \eta_{PV}^{(t)} \cdot \eta_{El} - P_{1BS}^{dch,max} \cdot N_{BS} \leq -P_L^{(t)}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad (10)$$

bu yerda $P_{1BS}^{ch,max}$, $P_{1BS}^{dch,max}$ - bitta akkumulyator batareyasining ruxsat etilgan maksimal zaryadlanish va razryadlanish quvvatlari.

Yuqoridagi singari (8) ni e‘tiborga olib, chegaraviy shart (5) ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\begin{aligned} -W_{1BS}^{min(t)} \cdot N_{BS} &\leq W_b + \sum_{i=1}^t [R_{sol}^{(i)} \cdot A \cdot N_{PV} \cdot \eta_{PV}^{(i)} \cdot \eta_{El} - P_L^{(i)}] - \sum_{i=1}^t (1 - \eta_{BS}^{(i)}) \cdot \frac{P_{BS}^{dch(i)}}{\eta_{BS}^{(i)}} \leq \\ &\leq W_{1BS}^{max(t)} \cdot N_{BS}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \end{aligned} \quad (11)$$

bu yerda $W_{1BS}^{min(t)}$, $W_{1BS}^{max(t)}$ - t -chi vaqt intervalida bitta akkumulyator batareyasida jamlanishi mumkin bo‘lgan elektr energiyaning ruxsat etilgan minimal va maksimal qiymatlari.

Chegaraviy shart (6) dagi t - chi vaqt intervaliga kelganda akkumulyator batareyasidan razryadlanish orqali berilgan va zaryadlanish tufayli unga qabul qilingan elektr energiyasining miqdorlari quyidagicha aniqlanadi:

$$W_{BS.отд.}^{(t)} = \sum_{i=1}^t P_{BS}^{dch(i)}, \quad W_{BS.пол.}^{(t)} = \sum_{i=1}^t \eta_{BS}^{(i)} P_{BS}^{ch(i)}, \quad (12)$$

Qabul qilingan modelda ko‘rilayotgan davrning yakunida ($t=T$ bo‘lganda) akkumulyator batareyasidagi qoldiq energiya W_b ga teng deb olingan. Bunday holatda butun davr T bo‘yicha akkumulyator batareyasida elektr energiya balansi quyidagicha ifodalanadi:

$$W_{BS.отд.}^{(T)} - W_{BS.пол.}^{(T)} = 0 \quad \text{yoki (12) ni e'tiborga olsak,}$$

$$\sum_{i=1}^T P_{BS}^{dch(i)} - \sum_{i=1}^T \eta_{BS}^{(i)} P_{BS}^{ch(i)} = 0. \quad (13)$$

Hozirgi davrda quyosh panellari va boshqa – boshqarish, qayd etish va bog‘lash qurilmalarining o‘zini qoplash meyoriy davri, asosan, 25 yilni tashkil etadi [9]. Shu bilan birga hozirgi davrda nisbatan keng foydalayotgan geliyli akkumulyatorlarning o‘zini qoplash meyoriy davri, jumladan, 10 yilni tashkil etadi. Akkumulyator batareyasini almashtirish bilan bog‘liq bo‘lgan kapital xarajatlar uning dastlabki narxini 60 % qismini tashkil etadi [10]. Shu sababli akkumulyator batareyasi uchun solishtirma kapital xarajatlarni 25 yilga keltirish uchun ularni almashtirishlar soni 1,5 va almashtirish bilan bog‘liq bo‘lgan qo‘shimcha solishtirma kapital xarajatdar $0,6 \cdot C_{BS}$ ni hisobga olish lozim:

$$C_{BS.rep} = 1,5 \cdot 0,6 \cdot C_{BS} = 0,9 \cdot C_{BS}. \quad (14)$$

Bitta shoxobchada ketma-ket tutashtiriladigan akkumulyatorlar soni tanlanuvchi akkumulyatorning nominal kuchlanishi U_{IBS} va tarmoqning nominal kuchlanishi U_{net} ga muvofiq tarzda quyidagicha aniqlanadi:

$$N_{BS.ser.} = \frac{U_{net}}{U_{IBS}}.$$

Ushbu formula bo‘yicha hosil bo‘luvchi son yuqori tomonga butun qiymatga yaxlitlanadi. $N_{BS.par.}$ ta parallel ulanuvchi shoxobchalardan tashkil topuvchi batareyadagi akkumulyatorlarning umumiy soni quyidagicha aniqlanadi

$$N_{BS} = N_{BS.par.} \cdot N_{BS.ser.}. \quad (15)$$

[10, 11] ga muvofiq hozirgi davrda quyosh panellari uchun ishlatish xarajatlarini kapital xarajatga nisbatan 2,5 % qabul qilish mumkin. Bunga mos holda $k_{PV.OM} = 0,025$.

Boshqa boshqarish, qayd etish va bog‘lash qurilmalari uchun kapital va ishlatish xarajatlari 3_{BOS} fotoelektr qurilmalari uchun ularning qiymatiga bog‘liq bo‘lib, taxminiy hisoblashlarda $3_{BOS} = 0,5 \cdot 3_{PV}$ qabul qilish mumkin [8].

Bu yerda, shuningdek, ishlatish xarajatlarining texnologiyaning rivojlanishi va ishlatish sharoitlarining yaxshilanib borishi hisobiga pasayishini ham e‘tiborga olish mumkin. Hozirgi davrda ishlatish xarajatlarining yillik pasayishini 5% qabul qilish mumkin [10].

Shunday qilib, ishlatish xarajatlarining yillik pasayib borishi e‘tiborga olinmaganda ko‘rilayotgan masala matematik jihatdan quyidagi ko‘rinishda shakllantiriladi:

maqsad funksiyasi

$$3 = 1,525 \cdot C_{PV} \cdot N_{PV} + 1,9 \cdot C_{BS} \cdot N_{BS.ser.} \cdot N_{BS.par.} \rightarrow \min \quad (16)$$

chegaraviy shartlar

$$R_{sol}^{(t)} \cdot A \cdot N_{PV} \cdot \eta_{PV} \cdot \eta_{El} - P_{BS}^{ch(t)} + P_{BS}^{dch(t)} = P_L^{(t)}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (17)$$

$$R_{sol}^{(t)} \cdot A \cdot N_{PV} \cdot \eta_{PV}^{(t)} \cdot \eta_{El} - P_{1BS}^{ch.max} \cdot N_{BS.ser.} \cdot N_{BS.par.} \leq P_L^{(t)}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad (18)$$

$$-R_{sol}^{(t)} \cdot A \cdot N_{PV} \cdot \eta_{PV}^{(t)} \cdot \eta_{El} - P_{1BS}^{dch.max} \cdot N_{BS.ser.} \cdot N_{BS.par.} \leq -P_L^{(t)}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad (18a)$$

$$W_b + A \cdot N_{PV} \cdot \eta_{El} \sum_{i=1}^t (R_{sol}^{(t)} \cdot \eta_{PV}^{(t)}) - W_{1BS}^{max} \cdot N_{BS.ser.} \cdot N_{BS.par.} - \sum_{i=1}^t (1 - \eta_{BS}^{(i)}) \cdot \frac{P_{BS}^{dch(i)}}{\eta_{BS}^{(i)}} \leq \leq \sum_{i=1}^t P_L^{(t)}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \tag{19}$$

$$-W_b - A \cdot N_{PV} \cdot \eta_{El} \sum_{i=1}^t (R_{sol}^{(i)} \cdot \eta_{PV}^{(i)}) + W_{1BS}^{min(t)} \cdot N_{BS.ser.} \cdot N_{BS.par.} + \sum_{i=1}^t (1 - \eta_{BS}^{(i)}) \cdot \frac{P_{BS}^{dch(i)}}{\eta_{BS}^{(i)}} \leq \leq -\sum_{i=1}^t P_L^{(i)}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \tag{19a}$$

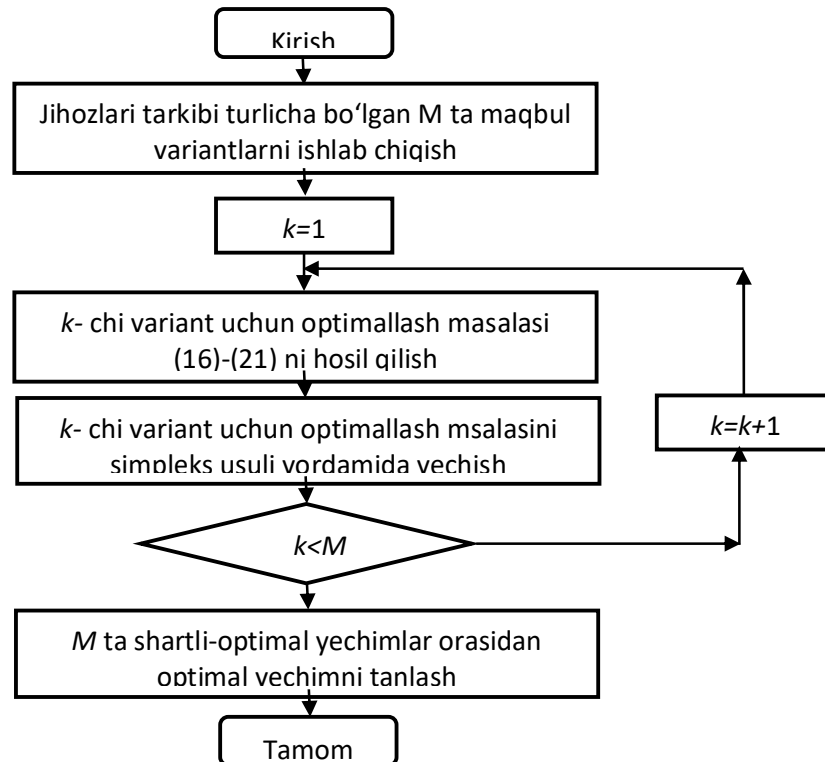
$$\sum_{i=1}^t P_{BS}^{dch(i)} - \sum_{i=1}^t \eta_{BS}^{(i)} \cdot P_{BS}^{ch(i)} \leq 0, \quad t = 1, 2, \dots, T - 1, \tag{20}$$

$$\sum_{i=1}^T P_{BS}^{dch(i)} - \sum_{i=1}^T \eta_{BS}^{(i)} P_{BS}^{ch(i)} = 0. \tag{21}$$

ni e'tiborga olib, minimallashtirilsin.

Hosil bo'lgan optimallashtirish masalasini yechish natijasida barcha $2(1+T)$ ta noma'lumlar, ya'ni N_{PV} , $N_{BS.par.}$ va $P_{BS}^{ch(1)}$, $P_{BS}^{ch(2)}$, ..., $P_{BS}^{ch(T)}$, $P_{BS}^{dch(1)}$, $P_{BS}^{dch(2)}$, ..., $P_{BS}^{dch(T)}$ lar topiladi. So'ngra formula (15) bo'yicha akkumulyator batareyalarining umumiy soni aniqlanadi.

Optimallashtirish algoritmi. Shakllantirilgan optimallashtirish masalasi chiziqli matematik dasturlash masalasi hisoblanadi. Shu sababli taklif etilayotgan algoritimga muvofiq maqsad funksiyasi (16) ni chegaraviy shartlar (17)-(21) larni hisobga olib minimallashtirish simpleks usuli yordamida amalga oshiriladi. Natijada quyosh panellari va akkumulyator batareyalarining optimal sonlari N_{PV} va N_{BS} hamda vaqtning har bir intervali uchun akkumulyator batareyasining zaryadlanish va razryadlanish quvvatlari $P_{BS}^{ch(t)}$, $P_{BS}^{dch(t)}$, $t = 1, 2, \dots, T$ aniqlanadi. Quyosh panellari va akkumulyator batareyalari sonining hosil bo'lgan qiymatlari yuqori tomonga butun qiymatga yaxlitlanadi.



2- rasm. Fotoelektr stansiyasi elementlarining optimal tarkibini tanlash algoritmining yiriklashtirilgan blok-sxemasi

Hozirgi davrda quyosh panellari va akkumulyator batareyalarining ko'plab ishlab chiqaruvchilari tomonidan bunday qurilmalarning texnik va iqtisodiy ko'rsatkichlari bilan farqlanuvchi turli tiplari taklif etilmoqda. Bunday sharoitda yuqoridagi model va algoritmdan foydalanish asosida jihoz va elementlarning optimal konfiguratsiyasini tanlash uchun yuqorida bayon etilgan masala quyosh panellari va akkumulyator batareyalarining har 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 yagona – eng optimal yechim aniqlanadi. 2-rasmda quyosh fotoelektr stansiyalari elementlarining optimal tarkibini tanlashning taklif etilgan algoritmini yiriklashtirilgan blok-sxemasi keltirilgan.

Aniqlangan optimal tarkibdagi elementlar asosida qurilgan akkumulyator batareyasiga ega bo'lgan fotoelektr tizimni ishlatish ularning qisqa muddatli (masalan, kunlik) ish rejimlarini optimal rejalashtirish asosida amalga oshiriladi. Bu bosqichda [12-15] da taklif etilgan matematik modellar va ular asosida optimallashtirish algoritmlari samarali foydalanilishi mumkin.

Munozara

Shunday qilib, ushbu ishda avtonom elektr energetika tizimida o'rnatiluvchi quyosh fotoelektr tizimlari elementlarining, xususan, ularda foydalaniluvchi quyosh panellari va akkumulyator batareyalarining turlari va ularning sonini tanlash masalasining yangi matematik modeli va uni yechish algoritmi taklif etilmoqda. Bu yerda ushbu yo'nalishda oldin boshqa mualliflar tomonidan amalga oshirilgan ishlar [1-3] dan farqli ravishda ko'rilayotgan masala optimallashtirish modeli asosida, ya'ni taklif etilayotgan qat'iy matematik modeldan foydalanish asosida katta aniqlikda yechiladi. Shuningdek, uni yechish bugungi kunda mavjud bo'lgan elektr iste'molchilarini elektr energiyasi bilan ta'minlash bo'yicha ishonchlilik va iqtisodiylik mezonlari bo'yicha alohida optimallashtirish masalalarini yechish algoritmi [8] dan farqli holda bitta optimallashtirish masalasiga keltirib yechishni ko'zda tutadi.

Taklif etilayotgan optimallashtirish algoritmining yana bir ijobiy jihati uni chiziqli dasturlash masalasiga keltirib, simpleks usul asosida yechish hisoblash jarayoning ishonchliligini ta'minlaydi.

Xulosalar

Akkumulyator batareyasiga ega bo'lgan fotoelektr tizimi elementlarining optimal tarkibini tanlash masalasining matematik modeli keltirilgan.

Akkumulyator batareyasiga ega bo'lgan fotoelektr tizimi elementlari tarkibini optimallashtirish quyosh panellari va akkumulyator batareyasining tiplari hamda sonini aniqlash imkonini beruvchi simpleks usulga asoslangan samarali algoritmi taklif etilgan.

Taklif etilgan matematik model va optimallashtirish algoritmi akkumulyator batareyasiga ega bo'lgan avtonom fotoelektr tizimlarni loyihalashda ularning elementlarini optimal tarkibini tanlashda samarali foydalanilishi mumkin.

Adabiyotlar

- [1] Zhang, Junli & Wei, Huashuai. (2022). A review on configuration optimization of hybrid energy system based on renewable energy. *Frontiers in Energy Research*. 10. 10.3389/fenrg.2022.977925.
- [2] Lanre Olatomiwa. Optimal configuration assessments of hybrid renewable power supply for rural healthcare facilities. *Energy Reports*, Volume 2, 2016. Pages 141-146. ISSN 2352-4847. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2016.06.001>.
- [3] Mas'ud AA, Al-Garni HZ. 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; 13(9):5123. <https://doi.org/10.3390/su13095123>.
- [4] Wang, Zekun & Jia, Yan & Yang, Yingjian & Cai, Chang & Chen, Yinpeng. (2021). Optimal Configuration of an Off-Grid Hybrid Wind-Hydrogen Energy System: Comparison of Two Systems. *Energy Engineering*. 118. 1641-1658. 10.32604/EE.2021.017464.

-
- [5] SUN, Qian et al. Optimal Configuration of Standalone Wind–Solar–Storage Complementary Generation System Based on the GA-PSO Algorithm. *Journal of Power Technologies*, [S.l.], v. 99, n. 4, p. 231–236, dec. 2019. ISSN 2083-4195.
- [6] Ghayoor, Farzad; Swanson, Andrew G.; Sibanda, Hudson. 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 , v. 32, n. 4, p. 11-27, Nov. 2021 .
- [7] Jing Yuan Liu, Xu Yang, Jin Gang Guo, Da Wang, Hai Zhao, Yue Lan, "Double-Layer Optimal Configuration Method of Hybrid Energy Storage System Based on Chaotic Ant Colony Algorithm", *Advances in Multimedia*, vol. 2022, Article ID 6993143, 10 pages, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/6993143>.
- [8] Freire-Gormaly, M, & Bilton, AM. "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*. Volume 2A: 41st Design Automation Conference. Boston, Massachusetts, USA. August 2–5, 2015. V02AT03A030. ASME. <https://doi.org/10.1115/DETC2015-47509>
- [9] Tristar, "TriStar MPPT Maximum Power Point Tracker," 2014.
- [10] Christoph Kost, Shivenes Shammugam, Verena Fluri, Dominik Peper, Aschkhan Davoodi Memar, Thomas Schelegl. "Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies," 2021
- [11] Christoph Kost, Shivenes Shammugam, Verena Julch, Huyen-Tran Nguyen, Thomas Schelegl. "Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies," 2018.
- [12] Гайибов Т. Выбор оптимальных параметров солнечных фотоэлектрических станций и аккумуляторов в распределительных электрических сетях / Сборник материалов международной онлайн конференции «Тенденции развития современной физики полупроводников: проблемы, достижения и перспективы». НИИ Физика полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистан. 2020. С. 237-242. www.e-science.uz.
- [13] Gayibov T.Sh., Fayziyev M.M., Toshov T.U. Tarkibida qayta tiklanuvchan energiya manbalarida ishlovchi elektr stansiyalari mavjud bo'lgan elektr energetika tizimlarining rejimlarini optimallashtirish. *Инновацион технологиялар журналы*. 2022. Махсус сон, 26-29 б.
- [14] Tulkin Gayibov and Elnur Abdullaev. Optimization of daily operation mode of photovoltaic systems of enterprises. *E3S Web of Conferences* 264, 04063 (2021). CONMECHYDRO – 2021.
- [15] T.Sh. Gayibov, B.A. Uzakov, E.A. Abdullaev. (2020) Optimization of loading schedules of consumers with own stations on the basis of renewable energy sources. *Journal of critical reviews*. 7(15) 1738-1742.