



Avtonom holda ishlovchi shamol elektr stansiyasi elementlarining tarkibini optimallashtirish masalasining matematik modeli va uni yechish algoritmi

Tulkin Sh. Gayibov¹, Tajiddin U. Toshev^{2,a)}, Shohisлом J. Toshurdiyev²

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

^{2,a)} dotsent, Karshi State Technical University, 180100 Karshi, Uzbekistan; tojiddin20.02.85@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9260-5151>

²⁾ magistr, Karshi State Technical University, 180100 Karshi, Uzbekistan

Dolzarbli: hozirgi elektr energiya iste'molining keskin suratlarda oshib borishi, uglevodород yoqilg'i zahiralarning cheklanganligi hamda energetikaning ekologik muammolarini keskinligi sharoitlarida qayta tiklanuvchan energiya resurslarida ishlovchi elektr stansiyalarini loyihalash va ishlatishning yanada takomillashgan usullarini ishlab chiqish va joriy etish muhim sanaladi. Bunday turdagi energiya resurslaridan foydalanuvchi elektr stansiyalarini loyihalashning asosiy masalalaridan biri ulardagi jihozlarning optimal tarkibini tanlash hisoblanadi. Hozirgi davrda ushbu masalani yechish bo'yicha bir qator ishlanma va dasturlarning mavjud bo'lishiga qaramasdan ularni barcha cheklovchi va ta'sir etuvchi faktorlarni e'tiborga olish, optimizatsion hisoblashlarning ishonchligi va aniqligini oshirish hisobiga takomillashtirish dolzarb masalaligicha qolmoqda.

Maqsad: avtonom holda ishlovchi shamol elektr stansiyalarini loyihalashda ularning jihozlari tarkibini optimal tanlash masalasini modellashtirish va uni yechish algoritmlarini rakomillashtirish.

Usullar: qayta tiklanuvchan energiya manbalarida ishlovchi stansiyalar va ularni o'z tarkibiga olgan energetika tizimlarini modellashtirish va hisoblash usullarini takomillashtirish asosida shamol elektr stansiyasi va akkumulyator batareyasiga ega avtonom tizimlar jihozlarining tarkibini optimallashtirish masalasini samarali matematik modeli va uni chiziqli dasturlash usullaridan foydalanib yechish algoritmi taklif etilgan.

Natijalar: matematik model va optimallashtirish algoritmining samaradorligi berilgan sutkalik yuklama grafigi bo'yicha ishlovchi iste'molchiga ega bo'lgan avtonom tizimda shamol agregatlari va akkumulyator batareyasi parametrlarini optimal tanlash bilan izohlanadi.

Kalit so'zlar: optimallashtirish, matematik model, algoritmi, avtonom tizim, shamol elektr stansiyasi, shamol agregati, kapital xarajat, ishlatish xarajati.

For citation: T.Sh Gayibov, T.U. Toshev, Sh.J. Mathematical model and algorithm for optimizing the composition of elements in an autonomously operating wind power station. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2025, no. 4, pp. 64-73.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18459876>

Received: 04.04.2025

Revised: 18.04.2025

Accepted: 10.07.2025

Published: 27.12.2025

Copyright: © Tulkin Sh. Gayibov, Tajiddin U. Toshev, Shohisлом J. Toshurdiyev, 2025. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Математическая модель задачи оптимизации состава элементов автономно работающей ветроэлектростанции и алгоритм её решения

Тулкин Ш. Гайибов¹, Тажиддин У. Тошев^{2,a)}, Шохислом Дж.Таштурдиев²

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

^{2,a)} доцент., Каршский государственный технический университет, Карши, 180100, Узбекистан; tojiddin20.02.85@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-9260-5151>

²⁾ магистр., Каршский государственный технический университет, Карши, 180100, Узбекистан

Актуальность: в современных условиях интенсивного повышения электропотребления, ограниченности запаса углеводородного топлива, а также остроты экологических проблем энергетики важным является разработка и внедрение более совершенных методов проектирования и эксплуатации электростанций, работающих на возобновляемых энергоресурсах. Одной из основных задач проектирования автономных систем со станциями, использующими такие виды энергоресурсов, является выбор оптимального состава используемого оборудования. Несмотря на существование в настоящее время ряда разработок и программ по решению этой проблемы, вопросы их совершенствования посредством учета всех ограничивающих и влияющих факторов, повышения надежности и точности оптимизационных расчетов, остается актуальной задачей.

Цель: заключается в совершенствовании методов моделирования и алгоритмов расчета задач выбора оптимального состава оборудования ветровых электростанций, работающих в автономном режиме.

Методы: предложена эффективная математическая модель выбора оптимального состава оборудования автономной системы, включающей в себя ветроэнергетическую установку и аккумуляторную батарею, а также алгоритм, основанный на ее решении путем применения методов линейного программирования.

Результаты: эффективность математической модели и алгоритма оптимизации объясняется оптимальным выбором параметров ветроустановок и аккумуляторных батарей в автономной системе с потребителем, работающим по заданному суточному графику нагрузки.

Ключевые слова: оптимизация, математическая модель, алгоритм, автономная система, ветровая электростанция, ветровой агрегат, капиталовложение, эксплуатационные затраты.



Mathematical model and algorithm for optimizing the composition of elements in an autonomously operating wind power station

Tulkin Sh. Gayibov¹, Tajiddin U. Toshev^{2,a)}, Shohislom J. Toshturdiyev²

¹⁾ DSc, prof., Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; tulgayibov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3619-2844>

^{2,a)} dotsent, Karshi State Technical University, Tashkent, 180100, Uzbekistan; tojiddin20.02.85@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9260-5151>

²⁾ magistr, Karshi State Technical University, Tashkent, 180100, Uzbekistan

Relevance: in modern conditions of intensive increase in electricity consumption, limited hydrocarbon fuel reserves, as well as the severity of environmental problems in the energy sector, it is important to develop and implement more advanced methods for the design and operation of power plants operating on renewable energy resources. One of the main tasks in designing autonomous systems with stations using these types of energy resources is choosing the optimal composition of the equipment used. Despite the current existence of a number of developments and programs to solve this problem, improving them by taking into account all limiting and influencing factors, increasing the reliability and accuracy of optimization calculations remains as an urgent task.

Aim: is to develop and implement more improved methods of designing and operating power plants working on renewable energy resources.

Methods: an effective mathematical model for choosing the optimal composition of autonomous system equipment, which includes a wind power plant and a storage battery, and an algorithm based on solving it by applying the simplex method to the problem of linear programming is proposed.

Results: the effectiveness of the mathematical model and optimization algorithm is explained by the optimal selection of parameters of wind units and accumulator batteries in an autonomous system with a consumer operating according to a given daily load schedule.

Keywords: optimization, mathematical model, algorithm, autonomous system, wind power plant, wind unit, capital investment, operating costs.

1. Kirish (Introduction)

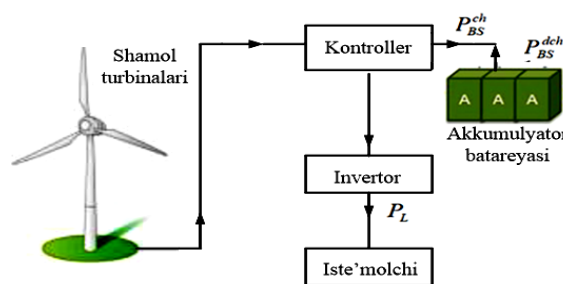
Qayta tiklanuvchan energiya manbalarida ishlovchi elektr stansiyalarini joriy etish va ularni elektr energetika tizimlariga integratsiyalashning dolzarb muammolarini hal etish borasida quyosh stansiyalari bilan bir qatorda shamol stansiyalari ham muhim o'rinni egallamoqda. Shu munosabat bilan shamol elektr stansiyalarini loyihalashda ularda ishlovchi jihozlarning optimal tarkibini tanlash muhim sanaladi. Bugungi kunda mazkur masalani yechish bo'yicha bir qator ilmiy ishlanmalar amalga oshirilgan bo'lsada, uni barcha tashqi faktorlarni e'tiborga olib, katta aniqlikda modellashtirish va bu asosda yechish algoritmlarini yaratish dolzarbligicha qolmoqda.

Mavjud adabiyotlarda ko'rilayotgan masalani yechishga bag'ishlangan bir qator [1-7] kabi ishlanmalar keltirilgan. Ular, shubhasiz, qayta tiklanuvchan energiya resurlarida ishlovchi elektr stansiyalariga ega bo'lgan tizimlarni loyihalash va ishlatish nazariyasi taraqqiyotiga ulkan hissa qo'shgan. Biroq, mavjud ishlanmalar uchun ularni ushbu ishda ko'riliyotgan masalani yechish uchun bevosita qo'llashning mumkin emasligi, ayrim cheklovchi va ta'sir etuvchi faktorlarning e'tiborga olinmaganligi, model yoki hisoblash algoritmi aniqligining nisbatan pastligi bilan bog'liq kamchiliklar xarakterlidir. Shu sababli, ularni barcha cheklovchi va ta'sir etuvchi faktorlarni hisobga olib, yanada katta aniqlikda yechish imkonini beruvchi modellar va hisoblash algoritmlarini yaratish yo'nalishida takomillashtirish dolzarb masalaligicha qolmoqda.

Ushbu maqolada qayta tiklanuvchan energiya manbalarida ishlovchi stansiyalarga ega bo'lgan tizimlarni loyihalash va ishlatish bilan bog'liq muammolarni hal etish yo'nalishida amalga oshirilgan ilmiy tadqiqot ishlari [9-11] ni davom ettirish asosida shamol elektr stansiyasi va akkumulyator batareyasi mavjud bo'lgan avtonom elektr tizimini loyihalashda jihozlarning optimal tarkibini tanlash masalasining matematik modeli va uni chiziqli dasturlash masalasiga keltirish orqali simpleks usulida yechish algoritmi taklif etilmoqda.

2. Materiallar va usullar (Methods and materials)

Ko'rilayotgan avtonom tizimning prinsiplial sxemasini 1- rasmdagi ko'rinishda ifodalash mumkin.



1-rasm. Shamol stansiyasi va akkumulyator batareyasiga ega bo'lgan avtonom tizimning sxemasi
Fig. 1. A schematic diagram of an autonomous system with a wind farm and a battery.

Shamol stansiyasi va akkumulyator batareyasidan tashkil topgan avtonom energetika tizimida jihozlarning tarkibini optimallashtirish masalasining matematik modelini quyidagicha ifodalash mumkin:

- tizimni qurish va keltirilgan meyoriy xizmat ko'rsatish davri davomida ishlatish bilan bog'liq bo'lgan umumiy xarajatlardan iborat bo'lgan maqsad funksiyasi

$$Z = Z_w + Z_{con} + Z_{BS} + Z_{inv} + Z_{wr} = (1 + k_{w.O\&M}) \cdot c_{w1} \cdot n_w + (1 + k_{con.O\&M}) \cdot c_{con1} \cdot n_w + (c_{BS1} + c_{BS1.rep.}) \cdot n_{BS.ser} \cdot n_{BS.par} + (1 + k_{inv.O\&M}) \cdot c_{inv1} \cdot n_{inv} + Z_{wr} \rightarrow \min \quad (1)$$

ni ko'rilayotgan davr T ning har bir vaqt intervali t da

- aktiv quvvat balasi bo'yicha

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

- shamol stansiyasining ruxsat etilgan minimal va maksimal quvvatlari bo'yicha

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

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

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

- akkumulyator batareyasining ruxsat etilgan minimal va maksimal energiyalari (sig'imi) bo'yicha

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

chegaraviy shartlarni hisobga olib minimallashtirish talab etiladi.

Bu yerda T - ko'rilayotgan davrdagi vaqt intervallari soni; c_{w1} , c_{con1} , c_{BS1} - shamol agregati, zaryad kontrolleri va akkumulyator batareyasi uchun solishtirma kapital xarajatlar $c_{BS1.rep.}$ - akkumulyator batareyasini almashtirish bilan bog'liq bo'lgan solishtirma kapital xarajat; $k_{w.O\&M}$, $k_{con.O\&M}$ - shamol agregati va zaryad kontrolleri uchun solishtirma ishlatish xarajatlari; n_w - o'rnatiluvchi shamol agregatlari va ularning har biri uchun personal zaryad kontrollerlari soni; $n_{BS.ser}$, $n_{BS.par}$ - bitta shoxobchada ketma-ket ulanuvchi va ketma-ket ulangan elementlardan tashkil topgan parallel ulanuvchi akkumulyator batareyasi shoxobchalari soni; $P_L^{(t)}$, $P_w^{(t)}$, $P_{BS}^{ch(t)}$, $P_{BS}^{dch(t)}$ -ko'rilayotgan davrning t - chi vaqt intervalida umumiy yuklama, agregatlarining beruvchi hamda akkumulyator batareyasining zaryadlanish va razryadlanish quvvatlari; η_{inv} - invertorning foydali ish koeffitsiyenti; $P_{BS}^{ch,max}$, $P_{BS}^{dch,max}$ - akkumulyator batareyasining maksimal zaryadlanish va razryadlanish quvvatlari; $W_{BS}^{(t)}$, $W_{BS}^{(t)min}$, $W_{BS}^{(t)max}$ - ko'rilayotgan davrning t - vaqt intervalida akkumulyator batareyasida jamlangan hamda uning ruxsat etilgan minimal va maksimal energiyasi.

Ushbu masalani yechish natijasida, jumladan, shamol agregatlarining optimal soni n_w ; batareyadagi akkumulyatorlarning umumiy optimal soni n_{BS} lar topiladi. Shu sababli masalani yuqorida keltirilgan modeldan foydalanib yechish uchun chegaraviy shartlardagi parametrlarni ushbu norma'lumlar orqali ifodalaymiz. Shamol generatorlarining t - chi vaqt intervalidagi umumiy quvvatini topishda

$$P_{wt} = \frac{\rho F v^3}{2} \cdot C_p \quad \text{dan foydalanish mumkin:} \quad P_w^{(t)} = (av^{(t)3} + bv^{(t)2} + cv^{(t)} + d) \cdot n_w, \quad (6)$$

bu yerda $v^{(t)}$ - t - chi vaqt intervalida shamolning tezligi; a , b , c , d - shamol agregatini ishlab chiqaruvchi tomonidan beriluvchi bog'lanish $P_w(v)$ ni approksimatsiyalash natijasida hosil bo'luvchi kubik algebraik polinomning o'zgarmas koeffitsientlari va ozod hadi.

Davrning t - chi vaqt intervaliga kelib akkumulyator batareyasida jamlanuvchi energiya miqdori

$$W_{BS}^{(t)} \quad \text{ushbu holatda ham} \quad W_{BS}^{(t)} = W_b + \sum_{i=1}^t P_{BS}^{ch(i)} - \sum_{i=1}^t \frac{P_{BS}^{dch(i)}}{\eta_{BS}^{(i)}} \quad \text{bo'yicha aniqlanadi.}$$



(6) ni hisobga olib, chegaraviy shart (3) ni quyidagi ko‘rinishda tasvirlash mumkin:

$$P_{1w}^{\min} \cdot n_w \leq (av^{(t)3} + bv^{(t)2} + cv^{(t)} + d) \cdot n_w \leq P_{1w}^{\max} \cdot n_w, \quad (3a)$$

bu yerda P_{1w}^{\min} , P_{1w}^{\max} - bitta shamol generatorining ruxsat etilgan minimal va maksimal quvvatlari.

So‘nggi tengsizlikni n_w ga bo‘lish orqali ushbu chegaraviy shartni shamol agregatlarining soniga bog‘liq bo‘lmasligiga ishonch hosil qilamiz va, shu sababli, (3) ni masalaning matematik modeli tarkibidan chiqaramiz.

(2) va (6) dan foydalanish orqali chegaraviy shartlar (4) ni quyidagi ko‘rinishda ifodalaymiz:

$$(av^{(t)3} + bv^{(t)2} + cv^{(t)} + d) \cdot n_w - P_{1BS}^{ch, \max} \cdot n_{BS} \leq \frac{P_L^{(t)}}{\eta_{inv}}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad (7)$$

$$-(av^{(t)3} + bv^{(t)2} + cv^{(t)} + d) \cdot n_w - P_{1BS}^{dch, \max} \cdot n_{BS} \leq \frac{P_L^{(t)}}{\eta_{inv}}, \quad t = 1, 2, \dots, T, \quad (8)$$

Akkumulyator batareyasining ruxsat etilgan maksimal razryadlanish chuqurligi α , ko‘rilayotgan davrning boshlanishida akkumulyator batareyasidagi qoldiq energiya W_b va har qanday t vaqt inter-valiga kelganda unda jamlangan energiya uchun ifoda $W_{BS}^{(t)} = W_b + \sum_{i=1}^t P_{BS}^{ch(i)} - \sum_{i=1}^t \frac{P_{BS}^{dch(i)}}{\eta_{BS}^{(i)}}$ dan

foydalanib, chegaraviy shart (5) ni ham:

$$(1 - \alpha) \cdot W_{1BS}^{\max(t)} \cdot n_{BS} \leq W_b + \sum_{i=1}^t P_{BS}^{ch(i)} - \sum_{i=1}^t \frac{P_{BS}^{dch(i)}}{\eta_{BS}^{(i)}} \leq W_{1BS}^{\max(t)} \cdot n_{BS}, \quad \text{ko‘rinishida ifodalaymiz.}$$

$$t = 1, 2, \dots, T,$$

Ushbu holatda ham ko‘rilayotgan davrning ya‘kunida akkumulyator batareyasida jamlangan energiya ushbu davrning boshlanishidagi energiyaga teng etib qabul qilinganligi sababli, uni hisobga olish uchun yuqoridagi chegaraviy shartlar qatoriga tenglik ko‘rinishidagi chegaraviy shart

$$\sum_{i=1}^T P_{BS}^{ch(i)} - \sum_{i=1}^T \frac{P_{BS}^{dch(i)}}{\eta_{BS}^{(i)}} = 0 \quad \text{ham qo‘shiladi.}$$

Shamol agregatlari uchun keltirilgan meyoriy xizmat ko‘rsatish davrida ishlatish xarajatlarining miqdori 1,8% [8], kelajakdagi xarajatlarni joriy narxlarga keltirish koeffitsiyentini

$k_{pr.} = \frac{(1 + k_{dis})^N - 1}{k_{dis} \cdot (1 + k_{dis})^N}$ bo‘yicha hisoblashda foydalaniluvchi diskont koeffitsiyenti esa, 5,15% qabul

qilinadi [6]. Shuningdek, bitta akkumulyatorni u ishlatila boshlanganidan so‘ng n -chi yilda al-

mashtirish uchun sarflanuvchi xarajatlar $c_{BS1.rep} = k_{pr.rep} \cdot c_{BS1} = \frac{1}{(1 + k_{dis})^n} \cdot c_{BS1}$ bo‘yicha hisobla-

nadi.

Shoxobchalarda ketma-ket ulanuvchi akkumulyatorlarning soni $n_{BS.ser}$ mos holda kontrollerning kirish kuchlanishi va bitta akkumulyatorning kuchlanishi bo‘yicha quyidagicha hisoblanadi:

$$n_{BS.ser} = \frac{U_{cont}}{U_{1BS}}. \quad (9)$$

O‘rnatiluvchi inverterlarning umumiy soni yuklamaning maksimal quvvati va bitta inverting nominal quvvati bo‘yicha quyidagi formula bo‘yicha aniqlanadi:

$$n_{inv.} = \frac{P_L^{\max}}{P_{n.inv}}. \quad (10)$$

Bunga mos holda inverter uchun keltirilgan xarajatlar quyidagicha topiladi:

$$Z_{inv.} = (1 + k_{inv.O\&M}) \cdot c_{inv1} \cdot n_{inv.} \quad (11)$$

Ulovchi o‘tkazgich uchun keltirilgan xarajatlar quyosh fotoelektr stansiyasiga ega bo‘lgan tizimlardagi singari boshqa barcha jihozlar uchun umumiy keltirilgan xarajatlarga nisbatan 1% miqdorida qabul qilinishi mumkin [6, 8]. Bunday holatda optimallashtirish masalasini yechishda maqsad funksiyasining qiymati 1% ga oshgani holda, u optimallashtiriluvchi parametrlarning qiymatiga ta’sir etmaydi. Shu singari inverterlar soni yuklamaga bog‘liq bo‘lib, ular uchun sarflanuvchi xarajatlar optimallashtiriluvchi parametrlarning qiymatlariga ta’sir etmaydi. Shu sababli optimallashtirish masalasini yechish bosqachida ushbu tashkil etuvchilarni, ya’ni inverterlar va o‘tkazgichlar uchun sarflanuvchi keltirilgan xarajatlarni hisobga olmaslik mumkin.

Shunday qilib, ko‘rilayotgan masalaning matematik modeli quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

maqsad funksiyasi:



$$3 = \left[(1 + k_{w.O\&M}) \cdot c_{w1} + (1 + k_{con.O\&M}) \cdot c_{con1} \right] \cdot n_w + (c_{BS1} + c_{BS1.rep.}) \cdot n_{BS.ser} \cdot n_{BS.par} + (1 + k_{inv.O\&M}) \cdot c_{inv1} \cdot n_{inv} + 3_{wr} \rightarrow \min; \quad (12)$$

tenqlik kўrinishidagi chegaraviy shartlar :

$$\left(av^{(t)3} + bv^{(t)2} + cv^{(t)} + d \right) \cdot \eta_{inv} \cdot n_w + \eta_{inv} \cdot P_{BS}^{dch(t)} = P_L^{(t)} + \eta_{inv} \cdot P_{BS}^{ch(t)}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^T P_{BS}^{ch(i)} - \sum_{i=1}^T \frac{P_{BS}^{dch(i)}}{\eta_{BS}^{(i)}} = 0; \quad (14)$$

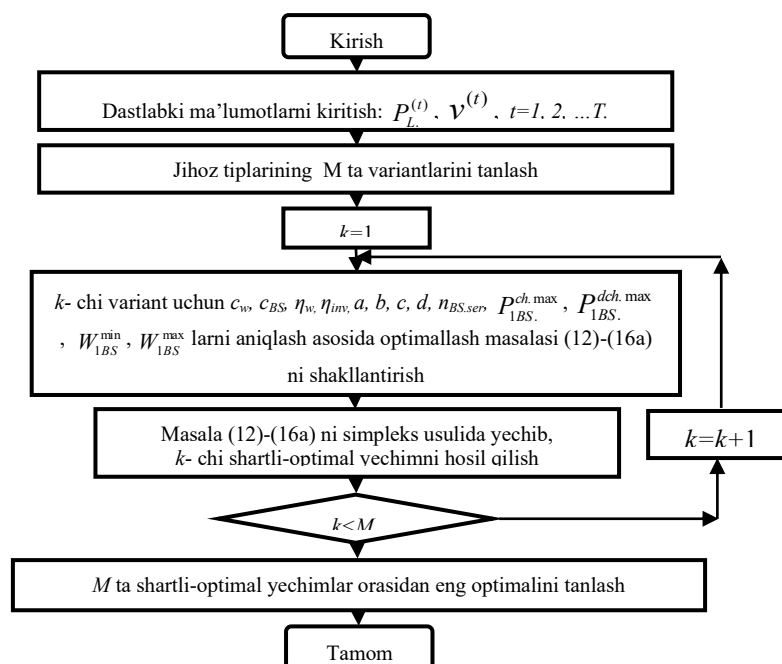
tengsizlik ko‘rinishidagi chegaraviy shartlar:

$$0 \leq P_{BS}^{ch(t)} \leq P_{1BS}^{ch.max} \cdot n_{BS.ser} \cdot n_{BS.par}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (15)$$

$$0 \leq P_{BS}^{dch(t)} \leq P_{1BS}^{dch.max} \cdot n_{BS.ser} \cdot n_{BS.par}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (15a)$$

$$W_b + \sum_{i=1}^t P_{BS}^{ch(i)} - \sum_{i=1}^t \frac{P_{BS}^{dch(i)}}{\eta_{BS}^{(i)}} \leq W_{1BS}^{max} \cdot n_{BS.ser} \cdot n_{BS.par}, \quad t = 1, 2, \dots, T; \quad (16)$$

$$-W_b - \sum_{i=1}^t P_{BS}^{ch(i)} + \sum_{i=1}^t \frac{P_{BS}^{dch(i)}}{\eta_{BS}^{(i)}} \leq -(1 - \alpha) \cdot W_{1BS}^{max} \cdot n_{BS.ser} \cdot n_{BS.par}, \quad t = 1, 2, \dots, T. \quad (16a)$$



2-rasm. SHES va AB ga ega bo‘lgan avtonom tizim jihozlarning tarkibini optimallashtirish algortmining yiriklashtirilgan blok-sxemasi

Fig. 2. Enlarged block diagram of the optimization algorithm of the composition of autonomous system equipment with WPS and BS

Shamolning tezligi grafigi $v^{(t)}$ ma‘lum bo‘lganda shamol generatorining har bir vaqt intervalidagi quvvatini [6] bo‘yicha aniqlash orqali uning quvvat grafigi aniqlanadi. Bunday holatda optimallashtirish masalasi (12)-(16a) chiziqli dasturlash masalasi ko‘rinishiga keladi. Uni yechish mos simpleks usulni qo‘llash asosida amalga oshiriladi. Natijada shamol agregatlari soni n_w , ketma-ket ulangan akkumulyatorlardan tashkil topgan parallel ulanuvchi shoxobchalar soni $n_{BS.par}$, akkumulyator batareyasining har bir vaqt intervalidagi zaryadlanish va razryadlanish quvvatlari topiladi. Ulardan foydalanib, akkumulyatorlarning umumiy soni, (10) bo‘yicha inverterlar soni hisoblanadi. (12) bo‘yicha topiluvchi qiymatga inverterlar uchun xarajatlar (11) ni qo‘shish va unga ushbu yig‘indining 1% qismiga teng bo‘lgan o‘tkazgichlar uchun xarajatlarni qo‘shish orqali maqsad funksiyasi, ya‘ni umumiy keltirilgan xarajatlar hisoblanadi. Optimal yechim jihozlarning qo‘llanilishi mumkin bo‘lgan bir nechta tiplari uchun ushbu tartibda amalga oshiriluvchi hisoblash natijalarini solishtirish asosida tanlanadi. 2- rasmda ushbu masalani taklif etilgan matematik modeldan foydalanish orqali yechish algoritmi keltirilgan.

3. Natijalar (Results)



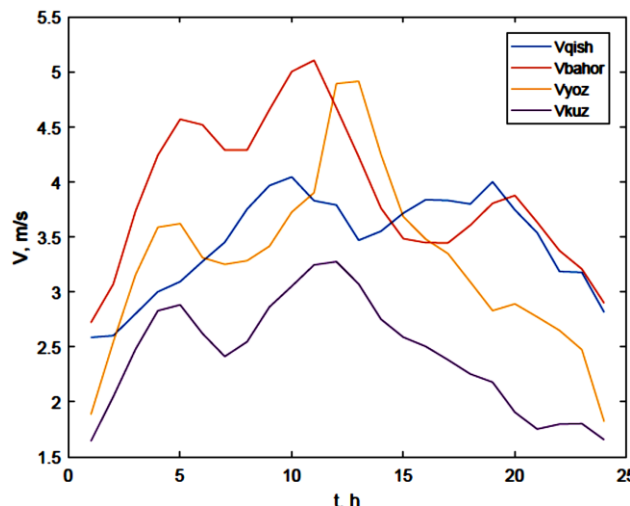
Taklif etilgan matematik model va optimallashtirish algoritmining samaradorligi “Qamashi don qabul qilish” korxonasi xududda ma’lum sutkalik yuklama grafigi bo’yicha ishlovchi iste’molchiga ega bo’lgan avtonom tizimda jihozlarning optimal tarkibini anlash misolida tadqiq qilindi.

Ko’rilayotgan xududda yil mavsumlarining xarakterli sutkalari uchun iste’molchining yuklama (P_L , kW birligida) va shamolning 12 m balandlikdagi tezligi (v , m/s birligida) grafiglari 1- jadvalda keltirilgan. Bunda yil mavsumining xarakterli sutkalari sifatida 20- dekabr, 20- mart, 20- iyun va 20- sentabr kunlari qabul qilinib, mos kunlardagi shamolning tezligi xalqaro GWA (Global Wind Atlas) bazasidan olingan

Jadval 1. Yil mavsumlarining sutkalarida iste’molchining yuklama va shamolning tezligi grafiglari
Table 1. Graphs of consumer load and wind speed on days of the year’s seasons

Qish mavsumi												
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P_L	8,3	6,4	5,2	6,2	6,9	10,1	13,8	18,2	24,6	30,0	33,4	29,4
v	2,58	2,60	2,80	3,00	3,09	3,27	3,45	3,75	3,96	4,04	3,82	3,78
t	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P_L	25,5	22,3	26,9	27,7	31,6	34,5	38,5	39,6	35,5	29,1	20,5	13,7
v	3,46	3,55	3,71	3,83	3,83	3,79	3,99	3,74	3,53	3,18	3,17	2,81
Bahor mavsumi												
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P_L	7,1	6,0	4,4	5,7	6,3	9,3	11,8	16,1	21,5	27,5	29,6	27,3
v	2,72	3,06	3,73	4,24	4,56	4,51	4,28	4,28	4,65	5,00	5,10	4,67
t	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P_L	22,1	19,5	23,2	23,9	29,2	31,0	34,5	34,1	32,7	26,3	18,0	12,2
v	4,22	3,76	3,48	3,44	3,44	3,60	3,80	3,87	3,63	3,37	3,20	2,89
Yoz mavsumi												
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P_L	6,5	4,8	4,0	4,7	5,3	7,8	10,8	13,7	20,1	24,6	26,3	23,1
v	1,88	2,54	3,15	3,58	3,62	3,31	3,25	3,28	3,41	3,72	3,90	4,89
t	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P_L	19,8	18,2	20,9	21,0	25,5	26,9	29,6	30,9	26,9	22,1	16,8	11,3
v	4,91	4,24	3,68	3,47	3,34	3,09	2,82	2,89	2,77	2,64	2,47	1,82
Kuz mavsumi												
t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P_L	7,5	5,5	4,5	5,5	6,3	8,6	11,8	15,7	22,3	27,4	30,2	26,1
v	1,64	2,04	2,47	2,82	2,88	2,62	2,41	2,54	2,86	3,05	3,24	3,27
t	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P_L	22,9	19,5	24,6	24,0	28,7	29,9	33,9	35,8	32,5	24,9	19,0	12,5
v	3,07	2,75	2,58	2,50	2,38	2,25	2,17	1,90	1,75	1,79	1,80	1,65

3- rasmda yil mavsumlarining xarakterli sutkalarida ko’rilayotgan xududda shamol tezligining o’zgarish grafiglari tasvirlangan.



3-rasm. Yil mavsumlarining xarakterli sutkalarida xududda shamol tezligining o’zgarish grafiglari
Fig. 3. Wind speed variation graphs in the region during characteristic days of the yearly seasons.



Misol tariqasida bittadan tipdagi shamol agregati, zaryadlovchi kontroller, akkumulyator batareyasi va invertorga ega bo'lgan holat ko'rib o'tildi.

Shamol agregatining parametrlari:

Model: NE-400M2; nominal quvvati: 400 W; energiya ishlab chiqara boshlaydigan minimal shamol tezligi: 2,5 m/s; hisobiy ishchi tezlik: 11 m/s; ruxsat etilgan maksimal shamol tezligi: 45 m/s; aylanish chastotasi: 450 ayl./min, soat strelkasi harakati yo'nalishida; uch parrakli; parrak aylanishining diametri: 1,7 m; elektr generatorining tipi: doimiy magnitli uch fazali; reduktorining foydali ish koeffitsiyenti: 0,92; elektr generatorining foydali ish koeffitsiyenti: 0,9; meyoriy xizmat ko'rsatish muddati: 20 yil; solishtirma narxi: 174 \$/dona; ishlash xarorati: $-40^{\circ}\text{C} - +80^{\circ}\text{C}$.

Kontrollerning parametrlari:

Model: ATO-WTCMPPT-400; nominal quvvati: 400 Vt; nominal kuchlanishi 12 V/24 V; solishtirma narxi: 77 \$/dona; ishlash harorati: $-20^{\circ}\text{C} - +60^{\circ}\text{C}$.

Qolgan jihozlar, ya'ni akkumulyatorlar va invertorlarning tiplari [12] da ko'rib o'tilgan quyosh fotoelektr stansiyalaridagi bilan bir xil etib tanlandi.

Shamol stansiyali avtonom tizim jihozlarning optimal tarkibini aniqlash quyosh stansiyali tizimdagi singari yilning birlamchi energiya resursini miqdori eng kam bo'lgan mavsumidagi grafiklardan foydalanish asosida hal etilishi zarur. Aks holda, boshqa mavsumlar uchun grafiklardan foydalanish asosida tanlangan jihozlar tarkibida birlamchi energiya resursi unga nisbatan kam bo'lgan mavsumlardagi yuklama grafisini qoplash imkoniyati yo'qoladi. Bu olingan yechimning ruxsat etilmasligini bildiradi.

Ko'rib o'tilayotgan holatda 3- rasm bo'yicha shamol energiya resursining eng kam bo'lgan miqdori kuz mavsumiga, eng ko'p bo'lgan miqdori esa, bahor mavsumiga to'g'ri kelishini ko'ramiz. Shunday qilib, jihozlarning ruxsat etilgan optimal tarkibini kuz mavsumi uchun yuklama va shamol tezligi grafiklaridan foydalanish asosida amalga oshiramiz.

Ushbu holatda shamol agregati uchun quvvat egri chizig'i, ya'ni agregat beruvchi quvvatning shamol tezligiga bog'likligini ifodalovchi bog'lanish berilmaganligi sababli shamolning turlicha tezligida u ishlab chiqaruvchi quvvatni formula [6] dan foydalanish asosida quyidagicha aniqlaymiz:

$$P_w = \frac{\rho F v^3}{2} \cdot C_p \cdot \eta_r \cdot \eta_g \quad (17)$$

bu yerda $C_p = 0,45$ – quvvat koeffitsiyenti; $\eta_r = 0,92$ – reduktorning foydali ish koeffitsiyenti; $\eta_g = 0,9$ – elektr generatorining foydali ish koeffitsiyenti.

2- jadvalda yilning turli mavsumlarini xarakterli sutkalari uchun yuklama va shamolning tezligi grafiklaridan foydalanish orqali jihozlar tarkibini (sonini) yuqorida taklif etilgan matematik model va algoritm asosida optimallashtirish natijalari hamda ushbu holatlarda sarflanuvchi umumiy xarajatlarning qabul qilingan meyoriy ishlatish davri (25 yil)ga keltirilgan qiymati berilgan. 3- jadvalda jihozlarning kuz mavsumi uchun ma'lumotlardan foydalanish orqali tanlangan optimal tarkibida umumiy yuklama, shamol stansiyasining beruvchi hamda akkumulyator batareyasining zaryadlanish va razryadlanish quvvat grafiklari keltirilgan. 4- rasmda esa ushbu grafiklar kuz va bahor mavsumlari uchun jihozlarning tanlangan optimal tarkibi uchun tasvirlangan.

Jadval 2. Jihozlarning turli mavsumlar bo'yicha ma'lumotlar asosida aniqlangan optimal tarkiblari

Table 2. Optimal configurations of equipment determined based on data from different seasons

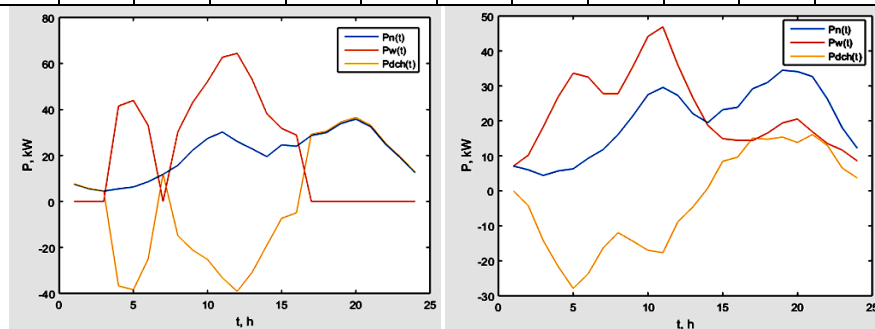
Mavsum	n_w , dona	n_{ab} , dona	n_{inv} , dona	3, \$
Qish	1050	96	4	555083,8
Bahor	645	220	4	447508,1
Yoz	919	214	4	541699,7
Kuz	3633	402	4	1699830,8

Jadval 3. Kuz mavsumini xarakterli sutkasi uchun yuklama, shamol stansiyasining ishlab chiqaruvchi hamda akkumulyator batareyasining zaryadlanish va razryadlanish quvvat grafiklar

Table 3. Load, wind power station output, and battery charging and discharging power graphs for the characteristic day of the autumn season

t , soat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P_L , kBT	7,5	5,5	4,5	5,5	6,3	8,6	11,8	15,7	22,3	27,4	30,2	26,1
P_w , kBT	0,0	0,0	0,0	42,3	44,8	33,7	0,0	30,9	43,9	53,2	64,0	65,7
P_{BS}^{ch} , kBT	0,0	0,0	0,0	36,7	38,4	24,9	0,0	14,8	21,1	25,2	33,1	39,1
P_{BS}^{dch} , kBT	7,65	5,61	4,59	0,0	0,0	0,0	12,0	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_L , kBT	22,9	19,5	24,6	24,0	28,7	29,9	33,9	35,8	32,5	24,9	19,0	12,5

$P_w, \text{кВт}$	54,2	38,9	32,4	29,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$P_{BS}^{ch}, \text{кВт}$	30,8	19,0	7,33	4,92	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$P_{BS}^{dch}, \text{кВт}$	0,0	0,0	0,0	0,0	29,2	30,5	34,5	36,5	33,1	25,4	19,3	12,7



4-rasm. Jihzlarning tanlangan optimal tarkibida yuklama, shamol stansiyasining ishlab chiqaruvchi hamda akkumulyator batareyasining razryadlanish va zaryadlanish quvvatlari ayirmasi grafiklari:

a) kuz mavsumi uchun; b) bahor mavsumi uchun

Fig. 4. Graphs of the difference between load, wind power plant output, and battery discharging and charging power in the selected optimal equipment configuration: a) for the autumn season; b) for the spring season

Natijalarni solishtirish asosida qish, bahor va yoz mavsumlari uchun ma'lumotlardan foydalanish orqali aniqlangan jihzlarning optimal tarkiblarida keltirilgan umumiy xarajatlarning miqdori kuz mavsumi ma'lumotlari bo'yicha aniqlangan tarkibdagiga nisbatan mos holda 1,62; 1,73 va 1,88 marta kichik ekanligini ko'ramiz (2- jadval). Biroq, ularning birortasini ham ruxsat etilgan yechim sifatida qabul qilish mumkin emas. Chunki, jihzlarning bunday tarkibida boshqa mavsumlardagi, jumladan, kuzgi mavsumdagi sutkalik yuklama grafisini qoplashning imkoni yo'q. Shunday qilib, ko'rib o'tilayotgan misolda jihzlarning ruxsat etilgan optimal tarkibi bo'lib kuzgi mavsum ma'lumotlari asosida tanlangan tarkib hisoblanadi:

$$n_w = 3633 \text{ dona}; n_{ab} = 402 \text{ dona}; n_{mv} = 4 \text{ dona}; 3 = 2830208,1 \text{ \$}.$$

Ushbu xududda shamolning tezligi nisbatan past bo'lganligi sababli meyoriy ishlatish davri (25 yil)ga keltirilgan umumiy xarajatlarning juda katta ekanligini ko'ramiz.

4. Munozara (Discussion)

Shunday qilib, avtonom holatda ishlovchi shamol stansiyali tizimda jihzlarning optimal tarkibini yilning shamol tezligini energiyasi eng kam bo'lgan mavsumi ma'lumotlari bo'yicha tanlash tavsiya etiladi. Ushbu jihzlardan boshqa – shamolning sutkalik energiyasi nisbatan katta bo'lgan mavsumlarda foydalanishda akkumulyator batareyalarini to'liq ish jarayonida qoldirib, shamol agregatlarining bir kismini to'xtatib qo'yish tavsiya etiladi. Bunda ishlatiluvchi agregatlarning soni mos masalani yechish orqali optimallashtirilishi zarur. Har bir mavsumda to'xtatib qo'yiluvchi shamol agregatlarining optimal sonini aniqlash uchun akkumulyatorlarning sonini kuz mavsumi ma'lumotlari asosida aniqlanganiga, shamol agregatlarining ruxsat etilgan maksimal sonini esa kuz mavsumi uchun aniqlanganiga teng deb qabul qilish orqali yuqoridagi algoritim bo'yicha masalani yechish amalga oshiriladi. So'ngra meyoriy xizmat ko'rsatish davriga keltirilgan umumiy xarajatlarning miqdori aniqlanadi. Buning uchun ushbu holatda kuz mavsumi ma'lumotlari asosida aniqlangan jihzlarning tarkibi uchun xarajatlarning shamol agregatlarini ishlatish bilan bog'liq bo'lmagan qismi 3_0 ga har bir mavsum davomida to'xtatilmaydigan agregatlarni ishlatish bilan bog'liq bo'lgan xarajatlar qo'shiladi. 3a- jadvalda bunday hisoblashlarning natijalari keltirilgan.

Jadval 3a. Kuz mavsumi ma'lumotlari asosida aniqlangan jihzlarning tarkibida meyoriy ishlatish davriga keltirilgan xarajalarni hisoblash natijalari

Table 3a. Determination of costs normalized to the standard operating period for the equipment configuration identified based on autumn season data

Mavsum	$3_0, \$$	To'xtatilmaydigan agregatlar soni va ularni ishlatish xarajatlari, \$				$3, \$$
		Qish: 1050 dona	Bahor: 645 dona	Yoz: 919 dona	Kuz: 3633 dona	
Kuz	1612099,0	23004,1	21048,3	18619,9	21932,9	1696704,2



Shunday qilib, yuqorida taklif etilgan shamol energiyasining resursi katta bo'lgan mavsumlarda to'xtatib quyilishi kerak bo'lgan shamol agregatlarining optimal sonini ham talab etilgan aniqlikda topish imkonini beradi. 3a- jadvalda keltirilgan natijalar bunday optimallashtirish hisobiga qo'shimcha tarzda 3126,6 \$ miqdorida iqtisodiy samaraga erishilganligini ko'rsatadi.

5. Xulosa (Conclusion)

1. Avtonom tizimda ya'gona manba sifatida ishlovchi shamol elektr stansiyasi jihozlarining tarkibini optimallashtirish masalasining samarali matematik modeli va uni yechish algoritmi ishlab chiqildi.
2. Taklif etilgan model va algoritmning samaradorligini konkret misollarda tadqiq etish asosida avtonom holda ishlovchi shamol stansiyasi jihozlarining optimal tarkibini yilning shamol resursi miqdori eng kam bo'lgan mavsumining xarakterli sutkasi uchun amalga oshiriluvchi hisoblashlar asosida tanlash maqsadga muvofiq ekanligi ko'rsatildi.
3. Hisoblash tajribalarining natijalari taklif etilgan model va algoritmni yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatadi.

ADABIYOT

1. 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).
2. 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.ite.pw.edu.pl/index.php/JPT/article/view/1617>.
3. 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>.
4. 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.egy.2016.06.001>.
5. 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>.
6. 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>.
7. 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>.
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. Гаййбов Т. Выбор оптимальных параметров солнечных фотоэлектрических станций и аккумуляторов в распределительных электрических сетях /Сб. междунар. онлайн конф. Тенденции развития современной физики полупроводников. НИИ при НУ Узбекистана. -2020. - С. 237-242.
10. Gayibov T. et al. 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. Гаййбов Т. Ш., Тошев Т. У. Автоном куёш фотоэлектр тизимларининг таркибини оптимallashtirish // *Энергия ва ресурс тежаш муаммолари*. 2023. Махсус сон № 84. Б. 292-298.
13. Gayibov T., Toshev T. Shamol elektr stansiyasiga ega bo'lgan avtonom tizimda agregatlar tarkibini optimallashtirish // *Problems of energy and sources saving*. -2024. №1-2. – B. 23–32.



REFERENCES

1. 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. 118. pp. 1641-1658. DOI:[10.32604/EE.2021.017464](https://doi.org/10.32604/EE.2021.017464).
2. 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.itec.pw.edu.pl/index.php/JPT/article/view/1617>.
3. 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>.
4. 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.egyr.2016.06.001>.
5. 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>
6. 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>.
7. 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>.
8. Christoph K., Shivenes S., Verena F. et al. 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.
10. Gayibov T.Sh. et al. 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. // *Problems of energy and sources saving*, 2023, Special issue, pp. 292-298.
13. Gayibov T., Toshev T. Optimizing the composition of aggregates in an autonomous system with a wind power plant // *Problems of energy and sources saving*, -2024. №1-2. pp. 23–32.