

MUQOBIL ENERGETIKA

ISSN - 2181-2284



2025

Том 19 Номер 3



АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ALTERNATIVE ENERGY

MUQOBIL ENERGETIKA

ILMIY-TEXNIK JURNALI

2021-yildan chop etila boshlagan

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ALTERNATIVE ENERGY

SCIENTIFIC - TECHNICAL JOURNAL

QARSHI-2025



BOSH MUHARRIR

G'ulom Uzoqov

t.f.d., prof., Qarshi davlat texnika universiteti

e-mail: uzoqov66@mail.ru

Bosh muharrir o'rinbosari

Jobir Axadov

t.f.d., k.i.x., Qayta tiklanuvchi energiya manbalari milliy ilmiy-tadqiqot instituti

e-mail: j.axadov@nires.uz

Mas'ul kotib

Xayrulla Davlonov

PhD, dots., Qarshi davlat texnika universiteti

e-mail: davlanov80@mail.ru

TAHRIR HAY'ATI

Tahrir hay'ati a'zolari

akad. Zohidov R.A. (O'zR FA EMI)
t.f.d., akad. Allayev Q.R. (ToshDTU)
t.f.d., prof. Uzoqov G'.N. (QarDTU)
f-m.f.d., prof. Nematov Sh.Q. (QarDTU)
Aslanov Sh.Ch. (Sho'rtan GKM" MChJ)
Xayrullayev K.I. ("Muborak IEM" AJ)
t.f.d., prof. Avezova N.R. (FPI)
t.f.d., k.i.x. Axatov J.S. (O'zR FA FTI)
t.f.d., k.i.x. Komilov A.G'. (QTEMMITI)
t.f.d., k.i.x. Axadov J.Z. (QTEMMITI)
t.f.d., prof. Mirzayev Sh.M. (BuxDU)
t.f.d., prof. Xayriddinov B.E. (QarDU)
t.f.d., prof. Urishev B. (QarDTU)
t.f.d., prof. Imomov Sh.J. (BuxDTU)
t.f.d., prof. Ishnazarov O.X. (O'zR FA EMI)
t.f.d., prof. Toyirov O.Z. (ToshDTU)
t.f.d., prof. Yuldoshev I.A. (ToshDTU)
t.f.d., prof. Xudayarov M.B. (ToshDTU)
t.f.d., prof. Sadullayev N.N. (BuxDTU)
t.f.d., prof. Raxmonqulov A.A. (QarDTU)
t.f.n., prof. Fayziyev T.A. (QarDTU)
t.f.n., prof. Sattarov B.N. (QarDTU)
t.f.n., prof. Vardiyashvili A.A. (QarDU)
t.f.f.d., dots. Davlonov X.A. (QarDTU)
t.f.f.d. dots. Shog'ochqorov S. (ToshDTU)
t.f.f.d., dots. Xujakulov S.M. (QarDTU)
t.f.f.d., dots. Safarov A.B. (QarDTU)
f-m.f.n., prof. Sa'dullayev A.B. (QarDTU)
Toshmamatov B.M. (QarDTU)

Xalqaro tahrir hay'ati a'zolari

t.f.d., prof. Xarchenko V.V. (Rossiya)
t.f.d., prof. Sednin V.A. (Belarus)
t.f.d., prof. Elistratov V.V. (Rossiya)
t.f.d., prof. Butuzov V.A. (Rossiya)
t.f.d., prof. Gnatyuk V.I. (Rossiya)
t.f.d., prof. Vinogradov A.V. (Rossiya)
t.f.d., prof. Xramtsov P.P. (Belarus)
f-m.f.d., prof. Zaginaylov V.I. (Rossiya)
t.f.d., prof. Mohd Jul Hakim Virzal (Malayziya)
t.f.d., prof. Midilli A. (Turkiya)
PhD, prof. Firat C. (Turkiya)
i.f.n., dots. Gibaddulin A.A. (Rossiya)
t.f.n., dots. Chervinskiy V.L. (Belarus)
f-m.f.n., dots. Novik A.V. (Belarus)
t.f.n., dots. Sednin A.V. (Belarus)
i.f.n., dots. Morkovkin D.E. (Rossiya)
t.f.d., dots. Mextieva A. (Ozarbayjon)
t.f.n., dots. Bovtrikova E.V. (Rossiya)
t.f.n., dots. Sa'dullozoda Sh.S. (Tojikiston)
t.f.n., dots. Abdullozoda R.T. (Tojikiston)
t.f.n., dots. Gita Devi (Oman)
PhD, dots. Ospanov E.A. (Qozog'iston)

Muqobil energetika – muqobil energetika sohasida erishilgan ilmiy yutuqlar, ilmiy innovatsion ishlanmalar va tadqiqot natijalari yoritilgan ilmiy va tahliliy maqolalar, qisqa xabarlar chop etiladigan ilmiy jurnal. Jurnal ruknlari doirasida o'tkaziladigan xalqaro kongresslar, simpoziumlar va konferensiyalar materiallari jamlangan maxsus son chop etilishi ham rejalashtirilgan.

Tahririyat manzili: Qarshi davlat texnika universiteti

180100, O'zbekiston, Qarshi sh. Mustaqillik, 225 uy.

Telefon: (8375) 221-09-23, faks: (8375) 224-13-95, E-mail: kstu@kstu.uz





ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Гулом Узаков

д.т.н., проф., Каршинский государственный технический университет

e-mail: uzoqov66@mail.ru

Заместитель главного редактора

Жобир Ахадов

д.т.н., с.н.с., Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых

источников энергии

e-mail: j.axadov@nires.uz

Ответственный секретарь

Хайрулла Давлонов

PhD, доц. Каршинский государственный технический университет

e-mail: davlonov@mail.ru

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Члены редакционной коллегии

д.т.н., академик Захидов Р.А. (АН РУз., ИПЭ)
д.т.н., академик Аллаев К.Р. (ТашГТУ)
д.т.н., проф. Узаков Г.Н. (КарГТУ)
д.ф.-м.н., проф. Нематов Ш.К. (КарГТУ)
Асланов Ш.Ч. («Шуртанский ГК» ООО)
Хайруллаев К.И. («Мубарекская ТЭЦ» ОА)
д.т.н., проф. Авезова Н.Р. (ФерПИ)
д.т.н., с.н.с. Ахатов Ж.С. (ФТИ АН РУз)
д.т.н., с.н.с. Комилов А.Г. (ННИИВИЭ)

д.т.н., с.н.с. Ахадов Ж.З. (ННИИВИЭ)
д.т.н., проф. Мирзаев Ш.М. (БГУ)
д.т.н., проф. Хайриддинов Б.Э. (КарГУ)
д.т.н., проф. Уришев Б. (КарГТУ)
д.т.н., проф. Имомов Ш.Ж. (БухГТУ)
д.т.н., проф. Ишназаров О.Х. (ИПЭ)
д.т.н., проф. Тоиров О.З. (ТашГТУ)
д.т.н., проф. Юлдошев И.А. (ТашГТУ)
д.т.н., проф. Худаяров М.Б. (ТашГТУ)
д.т.н., проф. Садуллаев А.Н. (БухГТУ)
д.т.н., проф. Рахманкулов А.А. (КарГТУ)
к.т.н., проф. Файзиев Т.А. (КарГТУ)
к.т.н., проф. Саттаров Б.Н. (КарГТУ)
к.т.н., проф. Вардияшвили А.А. (КГУ)
PhD, доц. Давлонов Х.А. (КарГТУ)
PhD, доц. Шогучкаров С.К. (ТашГТУ)
PhD, доц. Худжакулов С.М. (КарГТУ)
PhD, доц. Сафаров А.Б. (КарГТУ)
к.ф.-м.н., проф. Саъдуллаев А.Б. (КарГТУ)
Тошмаматов Б.М. (КарГТУ)

Члены международной редакционной коллегии

д.т.н., проф. Харченко В.В. (Россия)
д.т.н., проф. Седнин В.А. (Беларусь)
д.т.н., проф. Елистратов В.В. (Россия)
д.т.н., проф. Бутузов В.А. (Россия)
д.т.н., проф. Гнатюк В.И. (Россия)
д.т.н., проф. Виноградов А.В. (Россия)
д.ф.-м.н., проф. Храмцов П.П. (Беларусь)
д.т.н., проф. Загинайлов В.И. (Россия)
д.т.н., проф. Мохд Джул Хаким Вирзал (Малайзия)
д.т.н., проф. Мидилли А. (Турция)
PhD, проф. Фират К. (Турция)
к.э.н., доц. Гибаддулин А.А. (Россия)
к.т.н., доц. Червинский В.Л. (Беларусь)
к.ф.-м.н., доц. Новик А.В. (Беларусь)
к.т.н., доц. Седнин А.В. (Беларусь)
к.э.н., доц. Морковкин Д.Е. (Россия)
д.т.н., доц. Мехтиева А. (Азербайджан)
к.т.н., доц. Бовтрикова Е.Б. (Россия)
к.т.н., доц. Саъдуллозода Ш.С. (Таджикистан)
к.т.н., доц. Абдуллозода Р.Т. (Таджикистан)
к.т.н., доц. Гита Деви (Оман)
д.ф.т.н., доц. Оспанов Е.А. (Казахстан)

Альтернативная энергетика - научный журнал, в котором публикуются научные и аналитические статьи, короткие сообщения, освещающие научные достижения в области альтернативной энергетике, инновационные разработки и результаты исследований. Также планируется издание специального выпуска, в котором в рамках рубрик журнала будут опубликованы материалы международных конгрессов, симпозиумов и конференций.

Адрес редакции: Каршинский государственный технический университет
180100, Узбекистан, г.Карши, проспект Мустакиллик, дом 225.

Телефон: (8375) 221-09-23, факс: (8375) 224-13-95, E-mail: kstu@kstu.uz





EDITOR-IN-CHIEF

Gulom Uzakov

DSc, Prof., Karshi State Technical University

e-mail: uzoqov66@mail.ru

Deputy Editor-in-Chief

Jobir Akhadov

DSc, s.r., National Research Institute of Renewable Energy Sources

e-mail: j.axadov@nires.uz

Coordinating Editor

Khayrulla Davlonov

PhD, doc., Karshi State Technical University

e-mail: davlonov@80@mail.ru

EDITORIAL BOARD

Members of the editorial board

DSc, acad. Zakhidov R.A. (ASUZ., IEP)

DSc, acad. Allaev K.R. (TSTU)

DSc, prof. Uzakov G.N. (KSTU)

DSc, prof. Nematov Sh.K. (KSTU)

Aslanov Sh.Ch. ("Shurtan GChC" LLC)

Khairullaev K.I. ("Mubarak TPP" JSP)

DSc, prof. Avezova N.R. (TSTU)

DSc, s.r. Akhatov J.S. (PTI ASUZ)

DSc, s.r. Komilov A.G. (NSRIRES)

DSc, s.r. Akhadov J.Z. (NSRIRES)

DSc, prof. Mirzaev Sh.M. (BSU)

DSc, prof. Khairiddinov B.E. (KSU)

DSc, prof. Urishev B. (KSTU)

DSc, prof. Imomov Sh.J. (BSTU)

DSc, prof. Ishnazarov O.Kh. (IEP)

DSc, prof. Toirov O.Z. (TSTU)

DSc, prof. Yuldoshev I.A. (TSTU)

DSc, prof. Khudayarov M.B. (TSTU)

DSc, prof. Sadullaev N.N. (BSTU)

DSc, prof. Rakhmankulov A.A. (KSTU)

c.t.s., prof. Faiziev T.A. (KSTU)

c.t.s., prof. Sattarov B.N. (KSTU)

c.t.s., prof. Vardiyashvili A.A. (KSU)

PhD, doc. Davlonov Kh.A. (KSTU)

PhD, doc. Shogucharov S.K. (TSTU)

PhD, doc. Khuzhakulov S.M. (KSTU)

PhD, doc. Safarov A.B. (KSTU)

c.p-m.s., prof. Sa'dullaev A.B. (KSTU)

Toshmamatov B.M. (KSTU)

Members of the international editorial board

DSc, prof. Kharchenko V.V. (Russia)

DSc, prof. Sednin V.A. (Belarus)

DSc, prof. Elistratov V.V. (Russia)

DSc, prof. Butuzov V.A. (Russia)

DSc, prof. Gnatyuk V.I. (Russia)

DSc, prof. Vinogradov A.V. (Russia)

DPMS, prof. Khramtsov P.P. (Belarus)

DSc, prof. Zaginailov V.I. (Russia)

DSc, prof. Mohd Dzul Hakim Bin Wirzal (Malaysia)

DSc, prof. Midilli A. (Turkey)

PhD, prof. Firat C. (Turkey)

c.e.s., doc. Gibaddulin A.A. (Russia)

c.t.s., doc. Chervinski V.L., (Belarus)

c.p-m.s., doc. Novik A.V. (Belarus)

c.t.s., doc. Sednin A.V. (Belarus)

c.e.s., doc. Morkovkin D.E. (Russia)

c.t.s., doc. Mextieva A. (Azerbaijan)

c.t.s., doc. Bovtrikova E.V. (Russia)

c.t.s., doc. Sa'dullozoda Sh.S. (Tajikistan)

c.t.s., doc. Abdullozoda R.T. (Tajikistan)

PhD, doc. Gita Devi (Oman)

PhD, doc. Ospanov E.A. (Kazakhstan)

Alternative Energy is a scientific journal that publishes scientific and analytical articles, short reports covering scientific achievements in the field of alternative energy, innovative developments and research results. It is also planned to publish a special issue, where the materials of international congresses, symposiums and conferences will be published within the framework of the journal.

Editorial office address: Karshi State Technical University

180100, Uzbekistan, Karshi, Independence av.-225.

Tel: (8375) 221-09-23, fax: (8375) 224-13-95, e-mail: kstu@kstu.uz





MUQOBIL ENERGETIKA	АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА	ALTERNATIVE ENERGY
<p>Ilmiy-texnik jurnal 2021-yilda tashkil etilgan. Oliy Attestatsiya Komissiyasi Rayosatining 2024-yil 25-dekabrda 365/4-sonli qarori bilan 05.00.00-Texnika fanlari (05.05.00) isxtisosliklari bo'yicha OAK dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarni chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.</p>	<p>Научно-технический журнал основан в 2021 году. Постановлением Президиума Высшей аттестационной комиссии от 25 декабря 2024 года №365/4 журнал включен в список научных изданий, рекомендованных ВАК к публикации основных научных результатов диссертаций по специальностям 05.00.00-Технические науки (05.05.00).</p>	<p>The scientific-technical journal was established in 2021. By the Resolution of the Presidium of the Higher Attestation Commission dated December 25, 2024 No. 365/4, the journal is included in the list of scientific publications recommended by the Higher Attestation Commission for the publication of the main scientific results of dissertations in the specialties 05.00.00-Technical Sciences (05.05.00).</p>
<p>Ilmiy-texnik jurnalga 2021-yil 4-aprelda asos solingan bo'lib, u 2021-yil iyul oyidan boshlab chiqarilgan. Muassis: Qarshi davlat texnika universiteti. Manzil: 180100, Qarshi shahri. Mustaqillik shoh ko'chasi, 225. Telefon: 0375 221-09-23 Sayt: http://aenergy.qmii.uz e-mail: aenergy@mail.ru</p> <p>Nashr indeksi - 4074 ISSN 2181-2284</p> <p>19-sonli nashr. Terishga topshirilgan sana: 22.09.2025-y. Nashrga ruxsat berilgan sana: 24.09.2025-y. Chop etilgan sana: 30.09.2025-y.</p> <p>Bichimi 60x84 1/8. Times garniturası. Shartli bosma tabog'i 6,26. Nashr bosma tabog'i 6,25. Adadi 100. Buyurtma №106</p> <p>QarDTU "INTELLEKT" nashriyoti MIUda chop etildi. Tahririyat: Texnik muharrir: Tog'ayev I.</p>	<p>Научно-технический журнал основан 4 апреля 2021 года, издается с июля 2021 года. Учредитель: Каршинский государственный технический университет. Адрес: 180100, г. Карши, проспект Мустакиллик, 225. Телефон: 0375 221-09-23 Сайт: http://aenergy.qmii.uz e-mail: aenergy@mail.ru</p> <p>Индекс издания-4074 ISSN 2181-2284</p> <p>Выпуск 19. Дата предоставления в набор: 22.09.2025 г. Дата разрешения на публикацию: 24.09.2025 г. Дата публикации: 30.09.2025 г.</p> <p>Размер 60x84 1/8. Таймс гарнитура. 6.26. Условная печатная листов. 6.25. Учетно-издательских листов. Тираж 100. Заказ №106</p> <p>Напечатан в издательстве «ИНТЕЛЛЕКТ» при КГТУ. Редактор: Технический редактор: Тогаев И.</p>	<p>The scientific and technical journal was founded on April 4, 2021, published since July 2021. Founder: Karshi State Technical University. Address: 180100, Karshi, Independence av. 225. Phone: 0375 221-09-23 Site: http://aenergy.qmii.uz e-mail: aenergy@mail.ru</p> <p>Publication index - 4074 ISSN 2181-2284</p> <p>Issue 19. Date submitted for dialing: 22.09.2025-y. The date of publication is: 24.09.2025-y. Date of publication: 30.09.2025-y.</p> <p>Size 60x84 1/8. The Times. Conventional printing plate 6.26. Edition printing plate 6.25. Circulation 100. Order №106</p> <p>KSTU was published by the "INTELLECT" publishing house at the CPH. Editor: Technical Editor: Togaev I.</p>
<p>Muqobil energetika- quyidagi yuqori reyting va tegishli saytlarimiz tomonidan indekslanadi.</p> <p>Альтернативная энергетика- индексируется следующими топ-рейтингами и связанными с нами сайтами.</p> <p>Alternative energy is indexed by the following top ranking and our related sites.</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="853 1675 1141 1758"> </div> <div data-bbox="1149 1675 1420 1758"> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="869 1765 1029 1848"> </div> <div data-bbox="1037 1765 1412 1848"> </div> </div>	

Muqobil energetika ilmiy-texnik jurnalining 2025-yil 3-soniga 2025-yil 16-19-iyun kunlari Qarshi davlat texnika universitetida bo'lib o'tgan "Energetika kompleksining dolzarb muammolari: ishlab chiqarish, uzatish va ekologiya" II Xalqaro ilmiy-amaliy konferensiyaning saralangan materiallari ham kiritilgan.





MUNDARIJA

Abduraxmanov K.P., Tohirov U.X., Tabiiy konveksiyali va yuqori samaradorlikka ega bo'lgan havo isitgichli bilvosita turdagi quyosh quritish qurilmasida olmani quritish.....	9-17
Nosirov M.U., Sobirov Y.B. , Berdiyev G. Quyosh panellari samaradorligini oshirish uchun samarali nishab burchakni optimallashtirish: Parkent tumani hududi misolida.....	18-25
Azamov I.R., Xudoberganov M.O. Quyosh kollektorlari va issiqlik akkumulyatorlariga ega integratsiyalashgan energiya tizimlari tahlili.....	26-32
Gayibov T.Sh., Toshev T.U. Elektr energetika tizimi bilan parallel ishlovchi quyosh fotoelektr stansiyasi elementlarining tarkibini optimallashtirish masalasining matematik modeli va uni yechish algoritmi.....	33-40
Toshmamatov B.M., Norboyev Z.X. Aktiv quyosh isitish tizimiga ega chiqindi reaktori issiqlik rejimini tajribaviy tadqiqot qilish.....	41-46
Uzoqov G'.N., Raxmatov D.T. Yassi quyosh havo kollektorli piroliz qurilmasi yordamida chiqindilardan piro yoqilg'ilarni olish uchun kichik hajmli texnologiyani ishlab chiqish	47-55
Mamatqulova S.G', Norboyev Z.X. Rekuperativ issiqlik almashtirgichli piroliz bioenergetik qurilmasining trubali reaktorining issiqlik balansini tahlili.....	56-61
Uzoqov G'.N., Butuzov V.A., Mamedov R.A. Qayta tiklanadigan energiya manbalari asosidagi kogeneratsion energetik tizimlarning zamonaviy tahlili.....	62-78
Urishev B., Quvatov U., Urishova D. Nasos stansiyalar ichki bosimli quvurlarining optimal parametrlarini aniqlash.....	79-85
Juraboyev N.I., Akhatov J.S. Yashirin issiqlikni saqlash tizimlari uchun kapsulalangan fazaviy o'tuvchi materialning issiqlik-fizikaviy xususiyatlarini modellashtirish.....	86-92
Mugutskiy I.E., Nimatov S.J., Hafizov X.I. Ko'p modal ma'lumotlardan foydalangan holda uchuvchisiz havo tizimi orqali elektr qurilmalaridagi nosozliklarni aniqlash.....	93-99
Sa'dullayev A.B., Nabiyeva I.I., Boboqulov Z.A. Elektr yoritish tarmoqlarining energiya tejamkorlik va samaradorlik xususiyatlari.....	100-105
Raxmonov I.U., Nimatov K.B., Reaktiv quvvatni noaniq mantiq orqali avtomatik rostdash usulini modellashtirish	106-111
Raxmankulov A.A., Xaydarov T.Z., Maxmanov E.B. Uglerod materialidan uglerod nanotrubkalarini tozalash va ajratib olish.....	112-116
Xudayarov M.B., Abduxalimov J.A., Sayimov D.E., Karimov K.Sh. Past kuchlanishli elektr tarmoqlarida elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlarining elektr energiya isroflariga ta'sirini baholash va tahlil etishga oid tadqiqotlar sharhi.....	117-124
Safarov X.S.S., Mamatkulov A.N. Sinxron generatorlarning qo'zg'atishini avtomatik rostdash tizimlarini raqamli optimallashtirishning zamonaviy yo'nalishlari.....	125-130
Davlonov X.A., Ismoilov Sh.G'. Issiqlik nasosiga asoslangan kombinatsiyalangan suvni distillash texnologiyasi.....	131-140
Norboyev A.E., Imomnazarov A.B., Ibragimov I.I. Dastlabki ma'lumotlarning noaniqligi sharoitida elektr energiyasi tizimlarini optimallashtirish algoritmlarini takomillashtirishda matritsalaridan foydalanish.....	141-148
Pirmatov N.B., Bekishev A.Y., Kurbanov N.A., Imomnazarov A.B. Muqobil gibrid energiya manbalari asosida ishlovchi energetik qurilmaning ish rejimlarini matematik modellashtirish va quvvat taqsimotini optimallashtirish masalalari tahlili.....	149-156
Uzoqov G'.N., Ergashev Sh.H., Fatilloev S.Z. Issiqlik quvuri va biomassa-tuproq tizimida issiqlikni utilitatsiya qilishning issiqlik-texnik hisobi.....	157-166
To'rayev A.F., Paizullakhanov M.S., Utkirjon Sh.B., Sharipov M. Turli stexiometrik tarkib bilan sintez qilingan kobalt ferrit qotishmalarining XRF tahlili.....	167-173
Uzboyev M.D., Davlonov X.A., Toshmamatov B.M. Suv-ko'mir yoqilg'isini tayyorlash texnologiyasi va uning takomillashtirish usullari tahlili.....	174-179
Esanov T.B. Elektr transport vositalarini zaryadlash stansiyalarida energiya oqimini optimallashtirishning matematik tahlili.....	180-186
Gayibov T.Sh., Fayziyev M.M., Zayniyeva O.E., Murodov B.X. Elektr energetika tizimlarida akkumulyator batareyalarini optimal o'rnatilish joylarini aniqlash	187-193
Yunusov B.X., Mamadiyev B.R. Aralash sovitish va qo'shimcha ejektor yordamida turbina kondensatori samaradorligini oshirish.....	194-198
Yusupaliyev R.M., Jumanov Sh., Musashayxova N.A., Rajabov E. Ko'mir yoqiladigan issiqlik elektr stansiyalarda tutun gazlarini oltingugurt oksidlaridan tozalash zaruriyati.....	199-203
Bobojanov M.K., Mustayev R.A., Matkarimov S.K. Fotoelektrik stansiya integratsiyalangan tarmoqlarda elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlarini yaxshilash.....	204-210
Eshmurodov Z.O., Sayfiyev S.E. Qishloq xo'jaligi sug'orish ishlarida quyosh energiyasidan foydalanish.....	211-219





УДК 621.311.13

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТРИЦ ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Норбоев Анвар Эшмуминович¹-PhD, доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-1949-7016> e-mail: a_norboyev@list.ru

Имомназаров Азизбек Ботирович¹-доцент,

<https://orcid.org/0000-0001-6689-9870> e-mail: iazizbekbek1989@mail.ru

Ибрагимов Искандар Исроилович²-докторант PhD.

<https://orcid.org/0000-0002-6315-3069> e-mail: iskandarisroilovich@gmail.com

¹Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

²Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Введение. Задача оптимизации состояний электроэнергетических систем относится к числу сложных задач нелинейного математического программирования. Несмотря на то, что за последние пять лет разработано множество методов и алгоритмов решения этой задачи, вопрос их совершенствования с учетом современных условий эксплуатации электроэнергетических систем остается актуальной задачей. В данной работе предлагается новый алгоритм оптимизации кратковременных режимов электроэнергетических систем в условиях неопределенности исходных данных.

Материалы и методы. Особенность алгоритма связана с исключением необходимости выбора в расчетах единственного промежуточного узла с балансирующей энергетической установкой, что характерно для многих существующих методов. Показано, что учет изменения частоты и частичной неопределенности исходных данных при оптимизации режима электроэнергетической системы может существенно изменить результаты расчетов и привести к соответствующему повышению результирующей экономической эффективности.

Результаты: При использовании критерия минимин перерасход условного топлива при наиболее благоприятном условии реализации полученного оптимального плана равен нулю, а при наихудшем условии реализации – 667,8 т.у.т./ч. При использовании критерия минимакс эти показатели составляют 175,36 т.у.т./ч. и 492,42 т.у.т./ч. соответственно. При использовании остальных трех критериев, где были получены те же оптимальные планы (3-й условно-оптимальный план), такие возможные перерасходы условного топлива равны 43,83 т.у.т./ч. и 536,27 т.у.т./ч. соответственно.

Заключение: Проведен анализ эффективности алгоритмов оптимизации режимов энергосистемы в условиях частичной неопределенности исходной информации на основе использования платежной матрицы и различных дополнительных критериев

Ключевые слова: Электроэнергетическая система, целевая функция, ограничение, алгоритм, оптимизация, критерий.

Дата поступления: 16.06.2025. После обработки: 18.09.2025 Принято печать: 24.09.2025.

For citation: Norboyev A.E., Imomnazarov A.B., Ibragimov I.I. Using matrices to improve energy optimization algorithms under conditions of initial data uncertainty. Alternative energy. 2025. 3(19). pp. 141-148. (In Rus).

UDC 621.311.13

USING MATRICES TO IMPROVE ENERGY OPTIMIZATION ALGORITHMS UNDER CONDITIONS OF INITIAL DATA UNCERTAINTY





Norboyev Anvar Eshmuminovich¹-PhD, Docent,

<https://orcid.org/0000-0002-1949-7016> e-mail: a_norboyev@list.ru

Imomnazarov Azizbek Botirovich¹-Docent,

<https://orcid.org/0000-0001-6689-9870> e-mail: iazizbekbek1989@mail.ru

Ibragimov Iskandar Isroilovich²-Doctoral Student PhD.

<https://orcid.org/0000-0002-6315-3069> e-mail: iskandarisroilovich@gmail.com

¹Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

²Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. Introduction. *The task of optimizing the states of electric power systems is one of the complex tasks of nonlinear mathematical programming. Despite the fact that many methods and algorithms for solving this problem have been developed over the past five years, the issue of their improvement, taking into account modern operating conditions of electric power systems, remains an urgent task. In this paper, we propose a new algorithm for optimizing short-term modes of electric power systems in conditions of uncertainty of the initial data.*

Materials and methods. *The peculiarity of the algorithm is related to the exclusion of the need to select a single intermediate node with a balancing power plant in the calculations, which is typical for many existing methods. It is shown that taking into account changes in frequency and partial uncertainty of the initial data when optimizing the regime of the electric power system can significantly change the calculation results and lead to a corresponding increase in the resulting economic efficiency.*

Results: *When using the minimin criterion, the overspending of the conditional fuel under the most favorable condition for the implementation of the optimal plan is zero, and under the worst-case condition, it is 667.8 t.o.f./h. When using the minimax criterion, these indicators are 175.36 tons per hour and 492.42 tons per hour, respectively. When using the other three criteria, where the same optimal plans were obtained (the 3rd conditional optimal plan), such possible fuel overruns are 43.83 t/h and 536.27 t/h, respectively.*

Conclusion: *The analysis of the efficiency of algorithms for optimizing power system modes under conditions of partial uncertainty of the initial information is carried out based on the use of a payoff matrix and various additional criteria*

Key words: *Electric power system, objective function, constraint, optimization, algorithm, criterion.*

UO‘K 621.311.13

DASTLABKI MA'LUMOTLARINING NOANIQLIGI SHAROITIDA ELEKTR ENERGIYASI TIZIMLARINI OPTIMALLASHTIRISH ALGORITMLARINI TAKOMILLASHTIRISHDA MATRITSALARDAN FOYDALANISH

Norboyev Anvar Eshmuminovich¹-PhD, dotsent,

<https://orcid.org/0000-0002-1949-7016> e-mail: a_norboyev@list.ru

Imomnazarov Azizbek Botirovich¹-dotsent,

<https://orcid.org/0000-0001-6689-9870> e-mail: iazizbekbek1989@mail.ru

Ibragimov Iskandar Isroilovich²-tayanch doktorant.

<https://orcid.org/0000-0002-6315-3069> e-mail: iskandarisroilovich@gmail.com

¹Qarshi Davlat Texnika Universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

²Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya. Kirish. *Elektr energetika tizimlarining holatini optimallashtirish muammosi chiziqli bo‘lmagan matematik dasturlashning murakkab muammolaridan biridir. Oxirgi besh yil*





davomida ushbu muammoni hal qilishning ko'plab usullari va algoritmlari ishlab chiqilganiga qaramay, ularni elektr energetika tizimlarining zamonaviy ish sharoitlarini hisobga olgan holda takomillashtirish masalasi dolzarb vazifa bo'lib qolmoqda. Ushbu maqolada dastlabki ma'lumotlarning noaniqligi sharoitida elektr energiya tizimlarining qisqa muddatli rejimlarini optimallashtirishning yangi algoritmi taklif etiladi. Algoritmning o'ziga xos xususiyati hisob-kitoblarda balanslash elektr stansiyasiga ega bo'lgan yagona oraliq tugunni tanlash zaruratini istisno qilish bilan bog'liq bo'lib, bu ko'plab mavjud usullar uchun xosdir. Elektr energetika tizimining rejimini optimallashtirishda dastlabki ma'lumotlarning chastotasining o'zgarishi va qisman noaniqligini hisobga olish hisob-kitoblar natijalarini sezilarli darajada o'zgartirishi va natijada iqtisodiy samaradorlikning mos ravishda oshishiga olib kelishi ko'rsatilgan.

Materiallar va usullar. Algoritmning o'ziga xos xususiyati hisob-kitoblarda mavjud bo'lgan ko'plab usullarga xos bo'lgan muvozanatlashtiruvchi energiya qurilmasi bilan bitta oraliq tugunni tanlash zaruratini istisno qilish bilan bog'liq. Elektr energiyasi tizimi rejimini optimallashtirishda dastlabki ma'lumotlarning chastotasi va qisman noaniqligining o'zgarishini hisobga olish hisob-kitoblar natijalarini sezilarli darajada o'zgartirishi va natijada iqtisodiy samaradorlikning mos ravishda oshishiga olib kelishi mumkinligi o'rganildi.

Natijalar. Minimal mezondan foydalanganda, olingan optimal rejani amalga oshirishning eng qulay sharti bilan shartli yoqilg'ining ortiqcha sarflanishi nolga teng va eng yomon amalga oshirish sharti bilan – 667,8 t.sh.yo./soat.minimax mezonidan foydalanganda ushbu ko'rsatkichlar mos ravishda 175,36 t.sh.yo./soat va 492,42 t.sh.yo./soat.minimal mezondan foydalanganda, olingan optimal rejani amalga oshirishning eng qulay sharti bilan shartli yoqilg'ining ortiqcha sarflanishi nolga teng va eng yomon amalga oshirish sharti bilan – 667,8 t.sh.yo. gacha kamayadi.

Xulosa: To'lov matritsasi va turli xil qo'shimcha mezonlardan foydalanish asosida dastlabki ma'lumotlarning qisman noaniqligi sharoitida energiya tizimi rejimlarini optimallashtirish algoritmlarining samaradorligi tahlil qilindi

Kalit so'zlar: Elektr energetik tizimi, maqsad funksiyasi, cheklov, algoritm, optimallashtirish, optimallashtirish mezon.

Введение

Планирование развития и эксплуатации энергосистем может осуществляться на краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный периоды. При планировании развития энергосистем основной целью является определение [1-3] наиболее оптимального варианта развития, выявление источников, объемов и сроков [4, 5] инвестиций в сооружения. Одной из важнейших задач, решаемых перед планированием [6, 7], является прогнозирование нагрузок потребителей на соответствующий предстоящий период. При этом учитываются темпы роста населения и динамика других экономических показателей.

Планирование развития энергетической системы является весьма сложной задачей с большим количеством параметров различной природы, ограничивающих и влияющих факторов. Планирование подразделяется на статическое и динамическое. При статическом планировании [8, 9] задача решается на один этап или период; адинамическое планирование предполагает решение задачи в несколько этапов.

Другой характерной чертой [10, 11] задач планирования развития и эксплуатации энергосистем является неопределенность используемой исходной информации о состояниях и свойствах системы.

В энергосистемах неопределенность обычно заключается в состоянии системы, ее компонентов и состоянии окружающей среды, при котором существующее состояние, будущий результат или более одного возможного результата могут быть точно описаны. Иногда неопределенность в таких задачах приводит к отклонению реальных состояний и режимов от запланированных и соответствующей потере надежности и эффективности. В задачах оптимального планирования развития энергосистем [7, 12, 17] нагрузки узлов, генерируемые мощности, потоки мощности в цепях электрической сети, а также состояния элементов электрической сети обычно обладают неопределенными свойствами. Интуитивно



ясно, что неопределенность в работе системы более сложна и критична, чем при планировании. При системном планировании прогнозы неопределенности обычно неточны [13], часто далеки от реальной ситуации, что требует грубого приближения неопределенности, которое является приемлемым. Отказ от неопределенности прогноза на этапе планирования может быть «спасен» на этапе эксплуатации. Однако стоимость неопределенности на этапе эксплуатации выше, чем при планировании, поэтому в данном разделе диссертации рассматриваются вопросы оптимизации режимов энергосистемы в процессе эксплуатации – планирование краткосрочных режимов энергосистемы в условиях неопределенности используемой исходной информации.

Основной исходной информацией, имеющей степень неопределенности или частичной неопределенности в задачах [14-16] оптимального планирования краткосрочных режимов энергосистем, является информация о графиках нагрузки [18-27] узлов и конструктивных параметрах сетей. Неопределенность конструктивных параметров – активных сопротивлений линий электропередачи, трансформаторов и других устройств определяется их зависимостью от температуры окружающей среды. Обычно их учитывают путем введения соответствующих поправочных коэффициентов на основе данных прогноза погоды на планируемый период. А неопределенность графиков нагрузки узлов необходимо учитывать в процессе оптимизации путем использования специальных алгоритмов.

Алгоритм оптимизации

Рассмотрим суть оптимизации для типичного случая, наблюдаемого в задачах оптимизации режимов энергосистем, где чаще всего нагрузка задается в виде некоторого отрезка $[P_{min}; P_{max}]$, в пределах которого неизвестны никакие вероятностные характеристики ввиду их неизвестности. Более того, нагрузкам внутри отрезка не задаются никакие вероятностные характеристики, поскольку они неизвестны. В этом случае для решения задачи в заданном интервале выбирается набор значений нагрузки $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, причем $P_1 = P_{min}$ и $P_n = P_{max}$. При этом рекомендуется выбирать количество возможных значений нагрузки в заданном диапазоне с учетом требуемой точности решения задачи оптимизации и допустимого объема выполняемых вычислительных операций. Затем решается детерминированная задача оптимизации n раз для конкретных принятых значений нагрузки в заданном интервале $P_k = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$. В результате таких расчетов получаются соответствующие оптимальные значения искомого параметра z_k и значения целевой функции в виде $B_{kk} = f(z_k, P_k)$. Полученные $z_k = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ образуют множества условно оптимальных планов (решений), а $B_{kk} = \{B_{11}, B_{22}, \dots, B_{nn}\}$ образуют диагональные элементы платежной матрицы размером $n \times n$. После этого вычисляются значения целевой функции при всех возможных условиях реализации полученных условно оптимальных планов, т.е. $B_{kj} = f(z_k, P_j)$ при $k \neq j$. Эти значения целевой функции образуют недиагональные элементы платежной матрицы. Выбор наилучшего плана среди условно оптимальных планов на основе использования полученной платежной матрицы представляется невозможным без использования дополнительных критериев. Это связано с тем, что при неизвестных вероятностях начальной нагрузки разным условиям реализации планов соответствуют разные значения целевой функции B_{ij} и разные условно оптимальные планы.

Результаты и обсуждение

Исследована эффективность описанного алгоритма, изучены вычислительные качества описанного алгоритма в условиях частичной неопределенности исходной информации на примере оптимизации режима энергосистемы, схема которой представлена на рис. 1. Требуется оптимально распределить суммарные нагрузки узлов между четырьмя тепловыми электростанциями, расположенными в узлах 0, 1, 6 и 7, со следующими характеристиками расхода условного топлива, т.у.т./ч.:

$$B_0 = 100 + 0,2 * P_0 + 0,002 * P_0^2, B_1 = 120 + 0,2 * P_1 + 0,0025 * P_1^2, B_6 = 60 + 0,15 * P_6 + 0,0015 * P_6^2, \\ B_7 = 80 + 0,25 * P_7 + 0,001 * P_7^2.$$



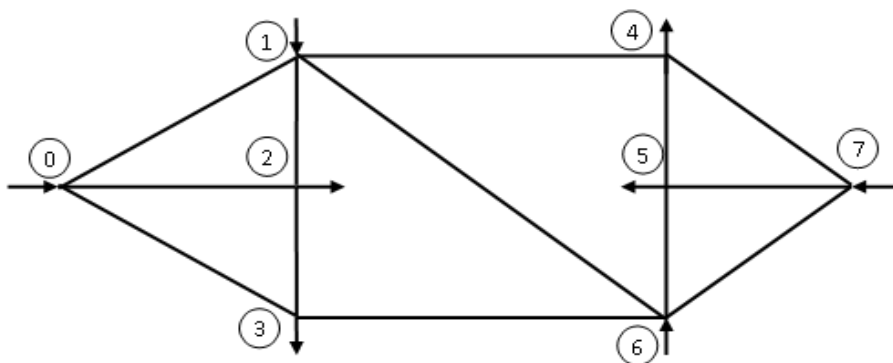


Рис.1. Схема энергосистемы.

Суммарная нагрузка энергосистемы частично неопределена, т.е. для нее известны только граничные значения $P_I = [1485 \text{ MBm}; 1815 \text{ MBm}]$. Мощности узлов нагрузки 2, 3, 4 и 5 определяются коэффициентами их доли в суммарной нагрузке. Для решения задачи по описанному выше алгоритму в заданном диапазоне неопределенной суммарной нагрузки через равные промежутки выбирались 5 значений и соответствующие им мощности узлов нагрузки определялись по коэффициентам их доли (таблица 1.).

Таблица 1.

Возможные значения нагрузок энергосистемы

№	1	2	3	4	5
P_I , МВт	1485,0	1567,5	1650,0	1732,5	1815,0
P_2 , МВт	349,0	369,0	388,0	408,0	427,0
P_3 , МВт	524,0	527,0	582,0	611,0	641,0
P_4 , МВт	175,0	198,0	194,0	204,0	214,0
P_5 , МВт	437,0	473,5	486,0	509,5	533,0

Решив задачу оптимизации режима энергосистемы в детерминированной постановке для известных пяти значений суммарной нагрузки и мощности узлов нагрузки (таблица 2), были получены условно оптимальные планы для исходной задачи (таблица 2).

Таблица 2.

Условно-оптимальные планы, полученные в результате оптимального распределения общей нагрузки энергосистемы между тепловыми электростанциями

Условное число оптимальный план	Общая нагрузка, МВт	Условно-оптимальная мощность тепловых электростанций, МВт			
		P_0	P_I	P_6	P_7
1	1485	290,91	232,73	404,54	556,82
2	1567,5	306,98	245,58	425,97	588,96
3	1650	323,05	258,44	447,40	621,10
4	1732,5	339,12	271,30	468,83	653,25
5	1815	355,19	284,15	490,26	685,39

На основе расчета по описанному выше алгоритму были определены все возможные варианты реализации полученных условно-оптимальных планов для возможных значений суммарной нагрузки. При этом небалансы, связанные с отклонением суммарной нагрузки энергосистемы от значения, при котором получен этот условно-оптимальный план, покрываются балансирующей станцией (например, для покрытия суммарной нагрузки энергосистемы 1650 МВт первым условно-оптимальным планом, при котором получено оптимальное распределение суммарной нагрузки 1485 МВт, мощность балансирующей станции становится равной 455,91 МВт). В таблице 3 представлена полученная платежная матрица, элементы которой представляют собой суммарный расход условного топлива на соответствующих мощностях ТЭС.

Таблица 3.

Матрица платежей

Условный номер оптимального плана	Суммарная нагрузка энергосистемы, МВт				
	1485	1567,5	1650	1732,5	1815
1	1524,81	1650,92	1804,26	1984,82	2192,61
2	1535,76	1639,96	1771,38	1930,02	2115,89
3	1568,64	1650,92	1760,41	1897,14	2061,08
4	1623,46	1683,80	1771,37	1886,17	2028,19
5	1700,17	1738,60	1804,25	1897,13	2017,23

В таблице 4 представлены оптимальные планы, полученные с использованием описанных выше критериев.

Таблица 4.

Оптимальные планы, полученные с использованием различных критериев

Критерий	Условный номер оптом Planna	Оптимальный план (мощность ТЭС), МВт			
		P_0	P_1	P_6	P_7
минимакс	5	355,19	284,15	490,26	685,39
минимин	1	290,91	232,73	404,54	556,82
Гурвиц (при $\alpha=0,5$)	3	323,05	258,44	447,40	621,10
Лаплас-Бейс	3	323,05	258,44	447,40	621,10
минимаксный риск	3	323,05	258,44	447,40	621,10

Таким образом, в рассматриваемой задаче по последним трем критериям в качестве оптимального получен третий условно-оптимальный план. По первому критерию в качестве оптимального получены 5-й и по второму критерию в качестве оптимального получены 1-й условно-оптимальные планы. Для оценки эффективности полученных результатов был проведен расчет возможного перерасхода нормативного топлива в сравнении с его значениями при наиболее благоприятных условиях (полученных по критерию минимин) и наихудших условиях (полученных по критерию минимакс) для условий реализации оптимальных планов, полученных по различным критериям:

$$\Delta B_{i,\min} = \min(j)B_{ij} - \min(i)\min(j)B_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, 5, \quad (1)$$

$$\Delta B_{i,\max} = \max(j)B_{ij} - \min(i)\min(j)B_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, 5 \quad (2)$$

В данной задаче разность между максимально возможным перерасходом, полученным при использовании критерия минимин (667,8 т.у.т./ч.), и максимально возможным перерасходом, полученным при использовании рассматриваемого критерия, можно назвать гарантированной экономией по данному критерию:

$$\Delta \Delta B_i = \min \min \Delta B_{i,\max} - \Delta B_{i,\max}, \quad i = 1, 2, \dots, 5 \quad (3)$$

Для сравнения результатов в таблице 5 показана гарантированная экономия общего расхода условного топлива при использовании различных критериев для определения оптимального плана.

Таблица 5.

Максимально возможный перерасход топлива от возможных отклонений суммарной нагрузки энергосистемы, т.у.т./ч

Критерий	Оптимальные планы	$\Delta B_{i,\min}$, т.э.ф./ч.	$\Delta B_{i,\max}$, т.э.ф./ч.	$\Delta \Delta B_i$, т.э.ф./ч.
минимакс	5	175,36	492,42	175,38
минимин	1	0,0	667,80	0,0
Гурвиц (при $\alpha=0,5$)	3	43,83	536,27	131,53
Лаплас-Бейс	3	43,83	536,27	131,53
минимаксный риск	3	43,83	536,27	131,53





Анализируя результаты вычислительного эксперимента, можно сделать следующие выводы:

При использовании критерия минимин перерасход условного топлива при наиболее благоприятном условии реализации полученного оптимального плана равен нулю, а при наихудшем условии реализации – 667,8 т.у.т./ч. При использовании критерия минимакс эти показатели составляют 175,36 т.у.т./ч. и 492,42 т.у.т./ч. соответственно. При использовании остальных трех критериев, где были получены те же оптимальные планы (3-й условно-оптимальный план), такие возможные перерасходы условного топлива равны 43,83 т.у.т./ч. и 536,27 т.у.т./ч. соответственно. В связи с тем, что максимальная гарантированная экономия обеспечивается при результате, полученном с использованием критерия минимакс, рекомендуется использовать этот критерий для решения задач рассматриваемого типа.

Выводы

1. Проведен анализ эффективности алгоритмов оптимизации режимов энергосистемы в условиях частичной неопределенности исходной информации на основе использования платежной матрицы и различных дополнительных критериев.

2. На основе исследований выявлена целесообразность использования критерия минимакса для выбора оптимального решения среди всех возможных планов.

3. Предложен эффективный алгоритм учета функциональных ограничений в виде неравенств при оптимизации режимов энергосистемы в условиях частичной неопределенности исходной информации на основе использования платежной матрицы и критерия минимакса.

ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. El-Havary, M.E., Christenstn, G.S.: Optimal Economic Operation of Electric Power Systems. Academic Press, New York (1979).
- [2]. Zhu, J.: Optimization of Power System Operation. Wiley-IEEE Press (2015).
- [3]. Bazaraa, M.S., Sherali, H.D., Shetty, C.M.: Nonlinear Programming: Theory and Algorithms. Wiley (2006).
- [4]. Michalewicz, Z., Fogel, D.B.: How to Solve It. Modern Heuristics. pp. 145-487, Springer (2004).
- [5]. Yang, X.S.: Nature-inspired metaheuristic algorithms. pp. 11-108, Luniver Press (2010).
- [6]. Coloni, A., Dorigo, M., Maniezzo, V.: Distributed Optimization by Ant Colonies. In: Proceedings of ECAL91, pp. 134–142. Elsevier Publishing, Paris (1991), pp. 134–142, 1991.
- [7]. Linda Slimani, Tarek Bouktir: Optimal Power Flow Using Artificial Bee Colony with Incorporation of FACTS Devices: a Case Study. International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.), 6(7), November-December (2011), <https://www.researchgate.net/publication/289851270>
- [8]. Braspenning, P.J., Thuijsman, F., Weijter, A.J.M.M.: Artificial Neural Networks: An Introduction to ANN Theory and Practice, pp.1–100. Springer (1995).
- [9]. Abaci, K., Yamacli, V.: Hybrid Artificial Neural Network by Using Differential Search Algorithm for Solving Power Flow Problem. Advances in Electrical and Computer Engineering 19(4), 57-64 (2019). doi:10.4316/AECE.2019.04007.
- [10]. Pedrycz, W.: Fuzzy control and fuzzy systems, pp. 1–78, John Wiley & Sons (1996).
- [11]. Yang, X.S., Deb, S.: Cuckoo Search via Levy flights. In: 2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing, pp. 210–214. IEEE, Coimbatore (2009). doi:10.1109/NABIC.2009.5393690.
- [12]. Pham, D.T., Ghanbarzadeh, A., Koc, E.: The Bees Algorithm A Novel Tool for Complex Optimisation. In: Intelligent Production Machines and Systems, pp. 454-459. Cardiff, UK. Elsevier (2006). doi: 10.1016/B978-008045157-2/50081-X.
- [13]. Pijarski, P., Kacejko, P.: Methods of Simulated Annealing and Particle Swarm Applied to the Optimization of Reactive Power Flow in Electric Power Systems. Advances in Electrical and Computer Engineering 18(4), 43-48 (2018). doi:10.4316/AECE.2018.04005



- [14]. Al-Sumait, J.S., Sykulski J.K., & Al-Othman, A.K.: Solution of Different Types of Economic Load Dispatch Problems Using a Pattern Search Method. *Electric Power Components and Systems* 36(3), 250-265 (2008). doi:[10.1080/15325000701603892](https://doi.org/10.1080/15325000701603892).
- [15]. Yuryevich, J., Wong K.P.: Evolutionary Programming Based Optimal Power Flow Algorithm. *IEEE Transaction on power Systems*, 14(4) (1999).
- [16]. Tarek Bouktir, Linda Slimani, Mohamed Belkacemi: Optimal Power Dispatch for Large Scale Power System using stochastic search algorithms. <https://www.researchgate.net/publication/245516225>, January 2008, DOI: 10.2316/Journal.203.2008.2.203-3501
- [17]. Allaoua, B., Laoufi, A.: Optimal Power Flow Solution Using Ant Manners for Electrical Network. *Advances in Electrical and Computer Engineering* 9(1), 34-40 (2009). doi:10.4316/AECE.2009.01006.
- [18]. Valdma, M, Keel, M, Liik, O, Tammoja, H.: Method of Minimax optimization of Power System Operation. In: *Proceedings of IEEE Bologna PowerTech 2003*, pp. 23-26. Bologna, Italy (2003).
- [19]. Valdma, M, Keel, M. and Liik, O.: Optimization of active power generation in electric power system under incomplete information. In: *Proceedings. of Tenth Power Systems Computation Conference*, pp. 1171-1176. Graz, Austria (1990).1
- [20]. Gayibov, T.Sh., Latipov, Sh.Sh.: [Optimum planning of power modes in conditions of partial uncertainty of background information](#). *Technical science and innovation* 2(2), 88-95 (2019).
- [21]. Tulkin Gayibov, Sherxon Latipov, Bakhadir Uzakov: [Power System Mode optimization by piecewise-linear approximation of energy characteristics of Power Plants.](#)/ Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” E3S Web of Conference, 139, 01086. RSES, Irkutsk, Russia (2019). doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901086>.
- [22]. Robbins, B.A., Zhu, H. and Domínguez-García, A.D. (2016) Optimal Tap Setting of Voltage Regulation Transformers in Unbalanced Distribution Systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 31(1), 256-267, doi: 10.1109/TPWRS.2015.2392693.
- [23]. Vadim Manusov, Pavel Matrenin, Nasrullo Khasanzoda. (2019) Power Loss Minimization by Voltage Transformer Turns Ratio Selection based on Particle Swarm Optimization. *Przeglad Elektrotechniczny*. (8). doi:10.15199/48.2019.08.28.
- [24]. Ramesh, L., Chowdhury, S.P., Chowdhury, S., Natarajan, A.A. and Gaunt, C.T. (2009) Minimization of Power Loss in Distribution Networks by Different Techniques. *International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, 3(4).
- [25]. Dauren Akhmetbayev, Arman Akhmetbayev, Aigerim Aidarova. (2017) Determination of rational transformation coefficients of transformers distribution networks. *E3S Web of Conferences* 25, 04003. RSES 2017 . doi: 10.1051/e3sconf/20172504003.
- [26]. Nasyrov, T.Kh., Gayibov, T.Sh. (2014) Theoretical foundations of optimization of power system modes. *Fan wa technology*. (in Russian).
- [27]. Gayibov, T.Sh. (2014) *Methods and algorithms for optimizing the modes of electric power systems*. TSTU Publishing House. (in Russian).

