ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -3

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 3

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

TRANSFORMATOR MOYINI TOZALASH UCHUN QUYOSH ENERGIYASIDA ISHLOVCHI MOBIL PROTOTIP QURILMA SAMARADORLIGINI TAHLIL QILISH

Qo‘ng‘irotboy Avezimbetovich Sharipov
O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vaziri
Sarsenbaev Dauletbay Baktibaevich
O‘zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi huzuridagi Qayta tiklanuvchi energiya manbalari milliy ilmiy-tadqiqot instituti tayanch doktoranti
Shermatov Bahodirjon Alijon o‘g‘li
Farg‘ona davlat texnika universiteti tayanch doktoranti
Tursunov Doniyor Abdusalimovich
Farg‘ona davlat texnika universiteti “Energetika muhandisligi” kafedrasi ilmiy darajali katta o‘qituvchisi PhD

Annotatsiya. Mazkur maqolada transformator mineral izolyatsion moyini ekspluatatsiya joyining o‘zida tozalashga mo‘ljallangan, fotoelektrik manbadan oziqlanuvchi mobil prototip qurilmaning texnologik va energetik samaradorligi tahlil qilindi. Qurilma mexanik filtrlash, nazoratli qizdirish, vakuumli suvsizlantirish va degazatsiya, nozik yakuniy tozalash hamda PV–akkumulyator–invertor energiya konturidan tashkil topadi. 100 L moy uchun issiqlik va elektr energiyasi balansi hisoblanib, bir siklning tizim kirishidagi energiya talabi 4,295 kWh, solishtirma energiya sarfi 42,95 Wh/L deb aniqlandi. 1,8 kWp fotoelektrik tizim, 5 ekvivalent quyosh-soat va PR=0,80 sharoitida 7,20 kWh/kun energiya ishlab chiqarishi hisoblandi. Ishning ilmiy yangiligi sifatida moyning dielektrik mustahkamligi, namlik kamayishi va solishtirma energiya sarfini yagona mezonda bog‘lovchi K_SE integral samaradorlik koeffitsiyenti taklif etildi. Mazkur mezon mobil qurilmaning tozalash sifati va energiya samaradorligini bir vaqtda baholash imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: transformator moyi, quyosh energiyasi, mobil qurilma, vakuumli dehidratatsiya, degazatsiya, PV tizim, energiya balansi, teshilish kuchlanishi, namlik, integral samaradorlik koeffitsiyenti.

Аннотация. В данной статье проанализирована технологическая и энергетическая эффективность мобильной прототипной установки, предназначенной для очистки трансформаторного минерального изоляционного масла непосредственно в месте эксплуатации и питаемой от фотоэлектрического источника. Установка включает механическую фильтрацию, контролируемый нагрев, вакуумное обезвоживание и дегазацию, тонкую финишную очистку, а также энергетический контур PV–аккумулятор–инвертор. Для 100 л масла выполнен расчёт теплового и электрического энергетического баланса. Установлено, что потребность в

ISSN 3030-3907

энергии на входе системы за один цикл составляет 4,295 кВт·ч, а удельное энергопотребление — 42,95 Вт·ч/л. В условиях фотоэлектрической системы мощностью 1,8 кВт, 5 эквивалентных солнечных часов и PR = 0,80 расчётная суточная выработка электроэнергии составила 7,20 кВт·ч/сут. В качестве научной новизны предложен интегральный коэффициент эффективности K_SE, объединяющий в едином критерии диэлектрическую прочность масла, снижение содержания влаги и удельное энергопотребление. Данный критерий позволяет одновременно оценивать качество очистки масла и энергетическую эффективность мобильной установки.

Ключевые слова: трансформаторное масло, солнечная энергия, мобильная установка, вакуумная дегидратация, дегазация, фотоэлектрическая система (PV), энергетический баланс, пробивное напряжение, влажность, интегральный коэффициент эффективности.

Abstract. This paper analyzes the technological and energy efficiency of a mobile prototype unit designed for the on-site purification of transformer mineral insulating oil and powered by a photovoltaic source. The unit consists of mechanical filtration, controlled heating, vacuum dehydration and degassing, fine final purification, and a PV–battery–inverter energy circuit. The thermal and electrical energy balance was calculated for 100 L of oil. The system input energy demand for one cycle was determined to be 4.295 kWh, corresponding to a specific energy consumption of 42.95 Wh/L. Under conditions of a 1.8 kWp photovoltaic system, 5 equivalent sun hours, and PR = 0.80, the calculated daily energy generation was 7.20 kWh/day. As a scientific novelty, an integral efficiency coefficient K_SE was proposed, combining the dielectric strength of the oil, moisture reduction, and specific energy consumption into a unified criterion. This indicator enables the simultaneous assessment of oil purification quality and the energy efficiency of the mobile unit.

Keywords: transformer oil, solar energy, mobile unit, vacuum dehydration, degassing, photovoltaic (PV) system, energy balance, breakdown voltage, moisture, integral efficiency coefficient.

1. KIRISH.

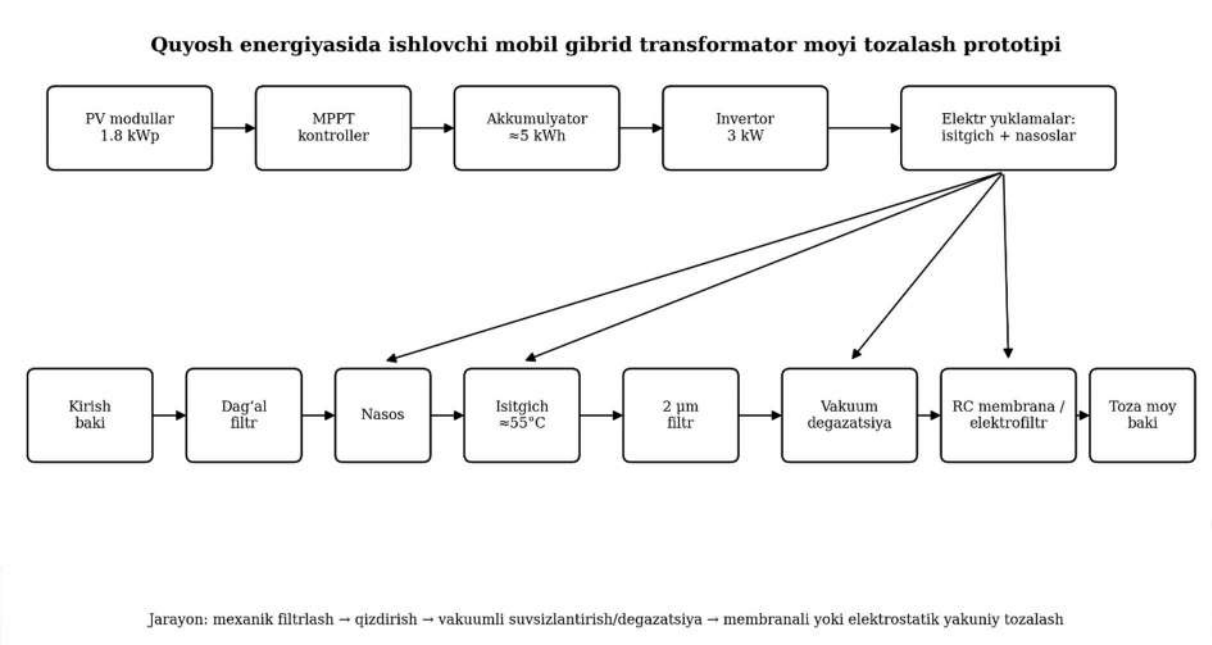
Kuch transformatorlarining ishonchli ishlashi ko‘p jihatdan mineral izolyatsion moyning elektr va fizik-kimyoviy holatiga bog‘liq. Moy bir vaqtning o‘zida elektr izolyatsiyasi, issiqlikni olib chiqish va aktiv qismni tashqi muhitdan himoyalash funksiyalarini bajaradi. Ekspluatatsiya jarayonida namlik, mexanik zarrachalar, oksidlanish mahsulotlari va erigan gazlarning ortishi teshilish kuchlanishini pasaytirishi, dielektrik yo‘qotishlarni oshirishi hamda transformator izolyatsiyasining qarish jarayonini tezlashtirishi mumkin [2–4].

ISSN 3030-3907

Amaldagi moyni tozalash texnologiyalarida vakuumli quritish va degazatsiya, ko‘p bosqichli mexanik filtrlash, adsorbsion regeneratsiya, membranali ajratish va elektr maydonida zarrachalarni ajratish kabi usullar qo‘llanadi [1,3–5]. Mobil qurilmalarning afzalligi moyni alohida transport qilish zaruratini kamaytirishi va xizmat ko‘rsatish jarayonini transformator joylashgan hududda tashkil etish imkonini berishidir. Biroq bunday qurilmalarda qizdirgich, sirkulyatsiya nasosi va vakuum nasosi elektr energiyasining asosiy iste’molchilari bo‘lib qoladi.

Shu sababli mobil tozalash tizimini qayta tiklanuvchi energiya manbasi bilan birlashtirish texnik jihatdan dolzarb hisoblanadi. Ushbu ishda quyosh fotoelektrik manbasi bilan ta’minlanadigan mobil prototipning energetik balansi ishlab chiqildi, texnologik ko‘rsatkichlari shakllantirildi va tozalash sifati bilan energiya sarfini birgalikda baholaydigan yangi integral mezon taklif etildi.

Tadqiqot obyekti sifatida transformator mineral moyini yopiq sirkulyatsiya konturida qayta ishlovchi mobil qurilma qabul qilindi. Texnologik kontur kirish baki, dag‘al filtr, sirkulyatsiya nasosi, elektr qizdirgich, 2 μm darajadagi nozik filtr, vakuumli degazatsiya va suvsizlantirish kamerasi, yakuniy tozalash moduli hamda toza moy bakidan iborat. Energiya konturi esa 1,8 kWp PV modullar, MPPT kontroller, taxminan 5 kWh sig‘imli akkumulyator buferi va 3 kW invertordan tashkil topadi.



1-rasm. Quyosh energiyasida ishlovchi mobil transformator moyi tozalash prototipining funksional sxemasi

Moy avval yirik mexanik aralashmalardan tozalanadi, so‘ng nasos yordamida qizdirish konturiga uzatiladi. Haroratning oshishi moy

ISSN 3030-3907

qovushqoqligini kamaytiradi va vakuum ostida namlik hamda erigan gazlarning ajralishini jadallashtiradi. Keyingi bosqichda nozik filtr va yakuniy tozalash moduli qoldiq zarrachalar hamda polar aralashmalarni kamaytiradi. PV energiyasi avvalo joriy yuklamalarga yo‘naltiriladi, ishlab chiqarish va iste’mol orasidagi qisqa muddatli nomutanosiblik akkumulyator yordamida qoplanadi.

Mobil prototip samaradorligi ikki guruh ko‘rsatkichlari bo‘yicha baholandi: texnologik sifat va energetik samaradorlik. Texnologik sifat uchun moy namligi W, teshilish kuchlanishi U_BDV va kislotalilik TAN asosiy nazorat parametrlar sifatida qabul qilindi. Teshilish kuchlanishini aniqlash IEC 60156, namlikni Karl Fisher usuli bilan aniqlash IEC 60814, ekspluatatsiyadagi mineral moy holatini umumiy baholash esa IEC 60422 talablariga mos ravishda olib borilishi kerak [6–8].

Mobil qurilmaning maqsadli ish zonasi sifatida namlik $W \leq 10$ ppm, teshilish kuchlanishi $U_{BDV} \geq 60$ kV va regeneratsiya moduli qo‘llanganda TAN $\leq 0{,}05$ mg KOH/g qiymatlari qabul qilindi. Ushbu mezonlar qurilmaning texnologik boshqaruv algoritmida yakuniy to‘xtash shartlari sifatida ishlatilishi mumkin.

1-jadval.

Mobil prototip uchun qabul qilingan asosiy samaradorlik mezonlari

Ko‘rsatkich	Belgilanishi	Maqsadli qiymat	Baholash mazmuni
Moy namligi	W	≤ 10 ppm	Suv miqdorini kamaytirish
Teshilish kuchlanishi	U_BDV	≥ 60 kV	Dielektrik mustahkamlik
Kislotalilik	TAN	≤ 0,05 mg KOH/g	Oksidlanish mahsulotlari holati
Solishtirma energiya sarfi	E_sp	≤ 0,05 kWh/L	Energetik samaradorlik
PV avtonomlik koeffitsiyenti	K_a	> 1,0	Bir siklni PV energiyasi bilan qoplash

Hisoblash uchun bir siklda V=100 L moy qayta ishlanishi qabul qilindi. Transformator moyining zichligi ρ=0,88 kg/L, o‘rtacha issiqlik sig‘imi c_p=1,90 kJ/(kg·K), boshlang‘ich harorat 25°C va texnologik harorat 55°C deb olindi. Moy massasi:

$$m = V \cdot \rho = 100 \cdot 0{,}88 = 88\ kg$$

ISSN 3030-3907

Moyni 25°C dan 55°C gacha qizdirish uchun ideal issiqlik energiyasi:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 88 \cdot 1{,}90 \cdot 30 = 5016\ kJ = 1{,}393\ kWh$$

Qizdirish konturining umumiy foydali ish koeffitsiyenti η_h=0,70 bo‘lganda elektr energiyasi sarfi:

$$E_h = Q / \eta_h = 1{,}393 / 0{,}70 = 1{,}990\ kWh$$

Sirkulyatsiya nasosi quvvati 0,25 kW, vakuum nasosi 0,45 kW, avtomatika va nazorat tizimi yuklamasi 0,05 kW deb qabul qilindi. Sikl davomiyligi 2,5 soat bo‘lganda:

$$E_n = 0{,}25 \cdot 2{,}5 = 0{,}625\ kWh$$
$$E_v = 0{,}45 \cdot 2{,}5 = 1{,}125\ kWh$$
$$E_a = 0{,}05 \cdot 2{,}5 = 0{,}125\ kWh$$

Jarayonning bevosita elektr energiyasi sarfi:

$$E_proc = 1{,}990 + 0{,}625 + 1{,}125 + 0{,}125 = 3{,}865\ kWh$$

Invertor va uzatish zanjiridagi yo‘qotishlar uchun η_e=0,90 qabul qilinganda tizim kirishidagi energiya talabi:

$$E_sys = E_proc / \eta_e = 3{,}865 / 0{,}90 = 4{,}295\ kWh/sikl$$

Solishtirma energiya sarfi:

$$E_sp = E_sys / V = 4{,}295 / 100 = 0{,}04295\ kWh/L = 42{,}95\ Wh/L$$

PV tizimning nominal quvvati P_{PV}=1,8 kWp, ekvivalent quyosh vaqti H_s=5 soat/kun va umumiy ishlash koeffitsiyenti PR=0,80 bo‘lganda kunlik ishlab chiqarish:

$$E_PV = P_PV \cdot H_s \cdot PR = 1{,}8 \cdot 5 \cdot 0{,}80 = 7{,}20\ kWh/kun$$

Bir 100 L sikl uchun energiya zaxirasi:

$$E_rez = E_PV - E_sys = 7{,}20 - 4{,}295 = 2{,}905\ kWh/kun$$

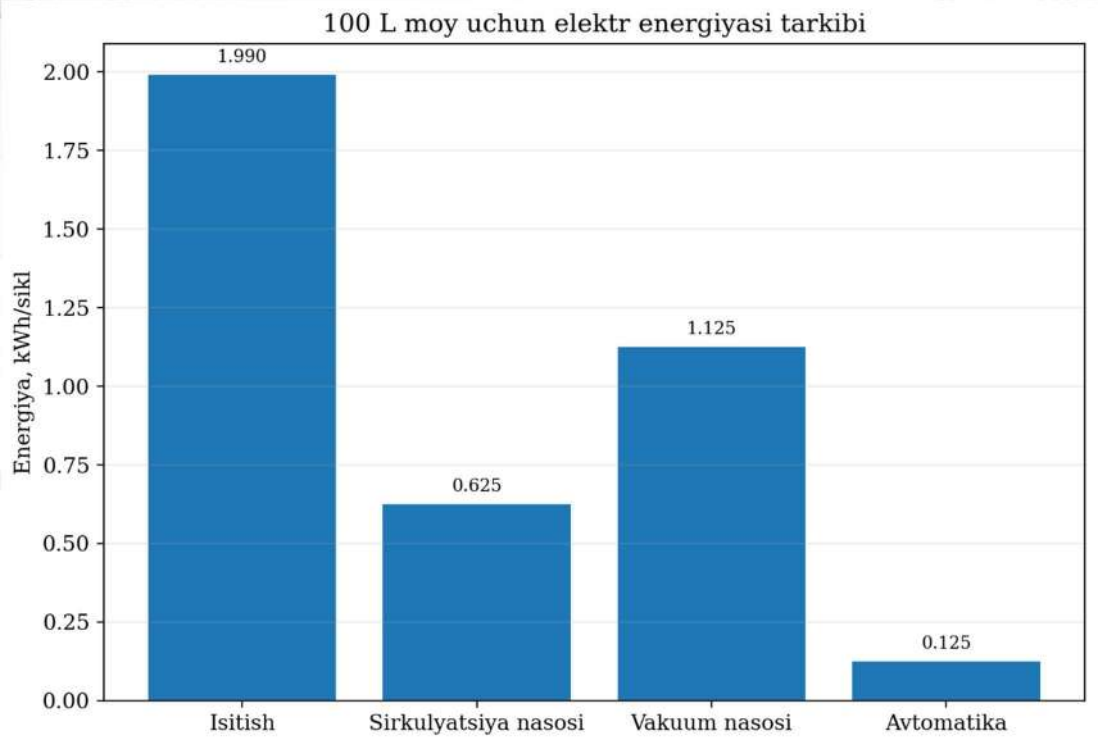
PV avtonomlik koeffitsiyenti:

$$K_a = E_PV / E_sys = 7{,}20 / 4{,}295 = 1{,}68$$

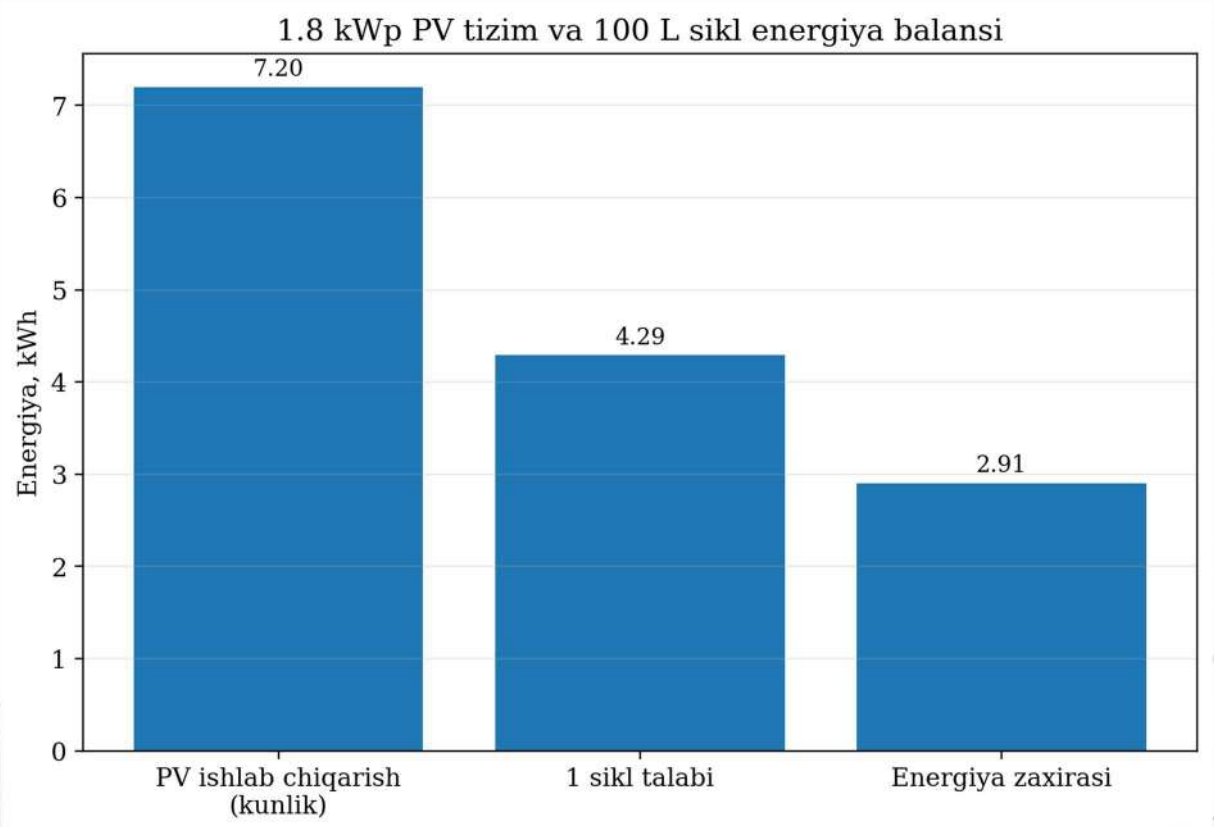
K_a>1 bo‘lganligi sababli qabul qilingan quyosh sharoitida bir 100 L siklning energiya talabi PV tizim tomonidan qoplanadi. Faqat energiya balansi bo‘yicha nazariy sutkalik qayta ishlash hajmi:

$$V_kun = 100 \cdot E_PV / E_sys = 100 \cdot 7{,}20 / 4{,}295 = 167{,}6\ L/kun$$

ISSN 3030-3907



2-rasm. 100 L moyni qayta ishlash siklidagi elektr energiyasi sarfining tarkibi



3-rasm. 1,8 kWp PV tizimning kunlik energiyasi va 100 L sikl energiya talabining taqqoslanishi

Mobil moy tozalash qurilmalarida samaradorlik odatda moyning yakuniy sifat ko‘rsatkichlari yoki elektr energiyasi sarfi bo‘yicha alohida baholanadi.

ISSN 3030-3907

Bunday yondashuv yuqori tozalash natijasiga haddan tashqari katta energiya sarfi hisobiga erishilgan holatni yetarli darajada aks ettirmaydi. Shu sababli mazkur ishda dielektrik mustahkamlikning yaxshilanishi, namlikning kamayishi va solishtirma energiya sarfini yagona o‘lchovsiz mezonda bog‘lovchi K_SE integral koeffitsiyenti taklif etildi.

$$K_SE = [\ \alpha\cdot(U_2-U_1)/U_1 + \beta\cdot(W_1-W_2)/W_1\ ] / (E_sp / E_ref)$$

bu yerda U_1 va U_2 — mos ravishda ishlovdan oldingi va keyingi teshilish kuchlanishi; W_1 va W_2 — moy namligi; E_sp — bir litr moyga sarflanadigan elektr energiyasi; E_ref — energiya sarfining tayanch qiymati; α va β — texnologik ko‘rsatkichlarning ahamiyat koeffitsiyentlari bo‘lib, α+β=1.

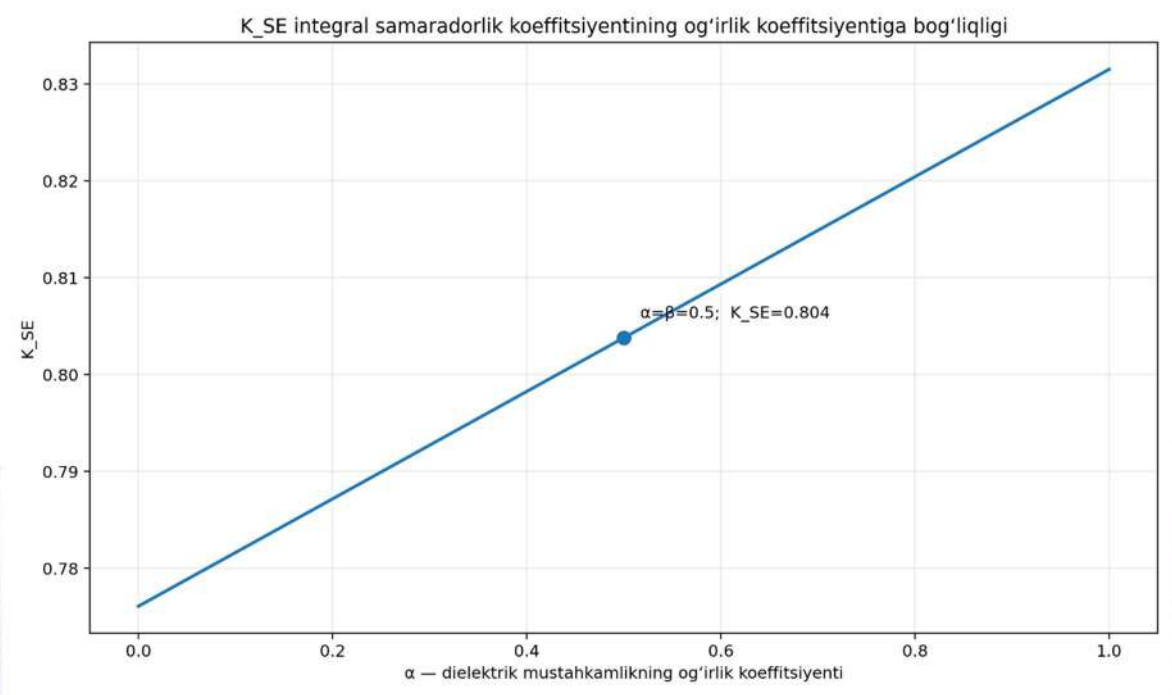
Taklif etilgan mezonda E_ref=0,05 kWh/L qabul qilindi. Dielektrik mustahkamlik va namlik bir xil ahamiyatga ega deb qaralganda α=β=0,5 bo‘ladi. Baholash nuqtasi sifatida U_1=35 kV, U_2=60 kV, W_1=30 ppm, W_2=10 ppm hamda E_sp=0,04295 kWh/L qabul qilinsa:

$$K_U = (60-35)/35 = 0{,}7143$$

$$K_W = (30-10)/30 = 0{,}6667$$

$$K_SE = [0{,}5\cdot0{,}7143 + 0{,}5\cdot0{,}6667] / (0{,}04295/0{,}05) = 0{,}804$$

K_SE koeffitsiyenti 1 ga yaqinlashgan sari texnologik natija va energiya sarfi o‘rtasidagi nisbat yaxshilanadi. Koeffitsiyentning afzalligi shundaki, turli quvvatdagi mobil qurilmalarni faqat yakuniy BDV yoki namlik qiymati bilan emas, balki ushbu natijaga sarflangan energiyani ham hisobga olgan holda taqqoslash mumkin.



4-rasm. K_SE integral samaradorlik koeffitsiyentining α og‘irlik koeffitsiyentiga bog‘liqligi

ISSN 3030-3907

Hisob-kitoblar shuni ko‘rsatdiki, 100 L moyni 25°C dan 55°C gacha qizdirish butun sikl elektr energiyasining eng katta qismini tashkil etadi. Qizdirish uchun 1,990 kWh, vakuum nasosi uchun 1,125 kWh, sirkulyatsiya nasosi uchun 0,625 kWh va avtomatika uchun 0,125 kWh talab qilinadi. Invertor yo‘qotishlari hisobga olinganda bir siklning umumiy energiya talabi 4,295 kWh ga yetadi.

Energiya sarfi tarkibidan ko‘rinadiki, tizimni takomillashtirishda asosiy rezerv qizdirish jarayoniga to‘g‘ri keladi. Issiqlik izolyatsiyasini yaxshilash, issiqlik almashinish yuzasini optimallashtirish va moyni ortiqcha qizdirmasdan vakuum rejimiga mos haroratda ushlab turish E_sp ko‘rsatkichini pasaytiradi. Masalan, qizdirish konturi samaradorligini oshirish natijasida umumiy energiya sarfining 5–10% kamayishi K_SE koeffitsiyentini bevosita oshiradi.

1,8 kWp PV tizim uchun hisoblangan 7,20 kWh/kun ishlab chiqarish 4,295 kWh/sikl talabdan 2,905 kWh yuqori. Demak, ochiq va yetarli quyosh radiatsiyasi mavjud sharoitda qurilmaning bir to‘liq sikli tashqi elektr tarmog‘isiz bajarilishi mumkin. Akkumulyator buferi esa bulutlanish, ishga tushirish toki va vaqt bo‘yicha notekis yuklamalarni qoplash uchun zarur.

2-jadval.

Mobil prototipning asosiy hisobiy samaradorlik ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	Hisoblangan qiymat	Izoh
Bir sikl hajmi	100 L	Mobil prototipning hisobiy sig‘imi
Bir sikl energiya talabi	4,295 kWh	Invertor yo‘qotishlari bilan
Solishtirma energiya sarfi	42,95 Wh/L	E_sp
PV kunlik ishlab chiqarish	7,20 kWh/kun	1,8 kWp; H_s=5 soat; PR=0,80
Energiya zaxirasi	2,905 kWh/kun	Bir 100 L sikldan keyin
PV avtonomlik koeffitsiyenti	1,68	K_a>1
Nazariy sutkalik hajm	167,6 L/kun	Faqat energiya balansi bo‘yicha
Integral samaradorlik	K_SE=0,804	α=β=0,5 uchun baholash nuqtasi

Mobil prototipning energiya samaradorligini oshirish uchun jarayon qat’iy vaqt bo‘yicha emas, moy holati va mavjud PV quvvatiga mos adaptiv boshqarilishi maqsadga muvofiq. Dastlabki bosqichda nasos va dag‘al filtr ishga tushiriladi. Keyin moy harorati vakuumli suvsizlantirish uchun yetarli darajaga

ISSN 3030-3907

yetkaziladi. Harorat chegarasiga erishgach, qizdirgich doimiy maksimal quvvatda emas, impulsli yoki proporsional boshqaruv asosida ishlaydi. Shu bilan birga vakuum nasosi va sirkulyatsiya tezligi moy oqimi hamda qoldiq namlik ko‘rsatkichiga moslashtiriladi.

PV ishlab chiqarish quvvati kamayganda qizdirgich yuklamasini qisqa muddat pasaytirish, nasoslarni optimal ish nuqtasida ushlab turish va akkumulyatordan faqat texnologik barqarorlikni saqlash uchun foydalanish energiya zaxirasini oshiradi. Bunday boshqaruvning maqsadi U_BDV va W bo‘yicha talab etilgan holatga minimal E_sp bilan erishish, ya’ni K_SE ni maksimal qiymatga yaqinlashtirishdan iborat.

Transformator moyini tozalash bo‘yicha mavjud tadqiqotlarda vakuumli quritish namlik va erigan gazlarni kamaytirishda, membranali va adsorbsion texnologiyalar esa qari moyning polar oksidlanish mahsulotlarini kamaytirishda yuqori samara berishi ko‘rsatilgan [1–5]. Ushbu natijalar mobil qurilmada bir nechta tozalash mexanizmlarini ketma-ket qo‘llash maqsadga muvofiqligini ko‘rsatadi. Biroq qurilma mobil bo‘lishi uchun texnologik samaradorlik bilan bir qatorda massasi, quvvati va energiya manbasiga qo‘yiladigan talablar ham cheklanishi kerak.

Taklif etilgan arxitekturada vakuumli suvsizlantirish asosiy texnologik bosqich, mexanik nozik filtr majburiy himoya bosqichi, membrana yoki elektrostatik modul esa moyning holatiga qarab ulanadigan yakuniy modul sifatida qaraladi. Bu yechim qurilmaning o‘rnatilgan quvvatini asossiz oshirmasdan texnologik moslashuvchanlikni ta’minlaydi.

K_SE koeffitsiyenti ushbu turdagi qurilmalarni keyingi tajriba va sanoat sinovlarida baholash uchun qo‘shimcha mezon sifatida qo‘llanishi mumkin. Masalan, ikkita qurilma bir xil 60 kV BDV ga erishgan taqdirda, kamroq elektr energiyasi sarflagan va namlikni chuqurroq kamaytirgan qurilma yuqoriroq K_SE qiymatiga ega bo‘ladi. Shu bilan integral mezon texnologik va energetik optimallashtirishni bitta maqsad funksiyasiga birlashtiradi.

9. XULOSA.

1. Quyosh fotoelektrik manbasidan oziqlanuvchi mobil transformator moyi tozalash qurilmasi uchun mexanik filtrlash, nazoratli qizdirish, vakuumli suvsizlantirish va degazatsiya hamda yakuniy nozik tozalashdan iborat funksional arxitektura ishlab chiqildi.

2. 100 L moy uchun bir sikl energiya talabi 4,295 kWh, solishtirma energiya sarfi esa 42,95 Wh/L ni tashkil etdi. Energiya sarfining eng katta ulushi qizdirish va vakuum jarayonlariga to‘g‘ri keladi.

ISSN 3030-3907

3. 1,8 kWp PV tizim, 5 ekvivalent quyosh-soat va PR=0,80 sharoitida 7,20 kWh/kun ishlab chiqaradi. Hisoblangan K_a=1,68 qiymati bir 100 L siklni PV energiyasi bilan qoplash mumkinligini ko‘rsatadi.

4. Ishning ilmiy yangiligi sifatida dielektrik mustahkamlik o‘sishi, namlik kamayishi va solishtirma energiya sarfini yagona o‘lchovsiz mezonda birlashtiruvchi K_SE integral energiya–texnologiya samaradorligi koeffitsiyenti taklif etildi.

5. $\alpha=\beta=0,5$, $U_1=35$ kV, $U_2=60$ kV, $W_1=30$ ppm, $W_2=10$ ppm, E_sp=0,04295 kWh/L va E_ref=0,05 kWh/L sharoitidagi baholashda K_SE=0,804 qiymati olindi. Ushbu koeffitsiyent keyingi prototip va sanoat sinovlarida turli ish rejimlarini taqqoslash uchun maqsad funksiyasi sifatida qo‘llanishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Birajdar V., Deshmukh G.D. Study, Design & Manufacturing of Mobile Transformer Oil Filter Plant, Degassing & Drying Unit. International Journal of Innovation and Scientific Research, 2015, 17(2), 230–235.
2. Abdi S., Harid N., Safiddine L., Boubakeur A., Haddad A.M. The Correlation of Transformer Oil Electrical Properties with Water Content Using a Regression Approach. Energies, 2021, 14(8), 2089. DOI: 10.3390/en14082089.
3. Safiddine L., Zafour H.-Z., Rao U.M., Fofana I. Regeneration of Transformer Insulating Fluids Using Membrane Separation Technology. Energies, 2019, 12(3), 368. DOI: 10.3390/en12030368.
4. Nasrat L., Abdelwahab M., Ismail G. Improvement of Used Transformer Oils with Activated Bentonite. Engineering, 2011, 3, 588–593. DOI: 10.4236/eng.2011.36070.
5. Yusupov D., Avazov B. Experimental analysis of the process of purifying transformer oil from various impurities under the influence of a constant electric field and assessment of mathematically modeled results. Vibroengineering Procedia, 2025.
6. IEC 60422:2024. Mineral insulating oils in electrical equipment — Supervision and maintenance guidance. International Electrotechnical Commission.
7. IEC 60156:2025. Insulating liquids — Determination of the breakdown voltage at power frequency — Test method. International Electrotechnical Commission.
8. IEC 60814:1997. Insulating liquids — Oil-impregnated paper and pressboard — Determination of water by automatic coulometric Karl Fischer titration. International Electrotechnical Commission.

ISSN 3030-3907