



Yuqori samarali mikroto'ldin-vakuum quritgichlarini qayta tiklanuvchi energiya manbalari asosida takomillashtirish istiqbollari

Baxshullayeva Mubashira Bahodir qizi

Buxoro davlat universiteti

05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari ixtisosligi bo'yicha stajyor-doktoranti.

E-mail: baxshullayevamubashira092@gmail.com

ANNOTATSIYA

Mazkur maqolada yuqori samarali mikroto'ldin-vakuum quritish texnologiyasini qayta tiklanuvchi energiya manbalari, birinchi navbatda quyosh fotoelektr tizimlari asosida takomillashtirish istiqbollari tahlil qilingan. Mikroto'ldin-vakuum quritishning energetik xususiyatlari, elektr energiyasiga asoslanganligi sababli qayta tiklanuvchi manbalar bilan integratsiyalashuv imkoniyati, vakuum muhitida past haroratli quritishning mahsulot sifatiga ta'siri yoritilgan. An'anaviy magnetronlardan qattiq jisimli mikroto'ldin generatorlariga o'tish, vakuum nasoslarini chastotaviy boshqarish, issiqlikni qayta tiklash, energiya saqlash va raqamli monitoring tizimlarini joriy etish yo'nalishlari taqqoslangan. Quritish kinetikasi va energetik samaradorlikni baholash uchun namlik nisbati, solishtirma energiya sarfi va quritish samaradorligi formulalari keltirilgan. O'zbekiston, xususan Buxoro viloyati sharoitida quyosh energetikasi salohiyatidan foydalanish imkoniyatlari Buxoro davlat universitetidagi fotoelektr stansiyalari misolida asoslangan. Natijalar energiya tejamkor, ekologik toza va modulli mikroto'ldin-vakuum quritish tizimlarini ishlab chiqish uchun ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Kalit so'zlar:

mikroto'ldin-vakuum quritish, qayta tiklanuvchi energiya manbalari, quyosh fotoelektr stansiyasi, energiya samaradorligi, solishtirma energiya sarfi, qattiq jisimli mikroto'ldin generatori, gibridd quritish, energiya saqlash.

Перспективы совершенствования высокоэффективных микроволново-вакуумных сушильных установок на основе возобновляемых источников энергии

АННОТАЦИЯ

В статье проанализированы перспективы совершенствования высокоэффективной микроволново-вакуумной сушилки на основе возобновляемых источников энергии, прежде всего солнечных фотоэлектрических систем. Рассмотрены энергетические особенности технологии, возможность её интеграции с возобновляемой электроэнергией, а также преимущества низкотемпературной сушилки в вакууме для сохранения качества продукта. Сопоставлены направления технического совершенствования: переход от магнетронов к твердотельным СВЧ-генераторам, частотное регулирование вакуумных насосов, рекуперация тепла, накопление энергии и цифровой мониторинг. Приведены расчетные зависимости для коэффициента влагосодержания, удельного энергопотребления и эффективности

Ключевые слова:

микроволново-вакуумная сушка, возобновляемая энергия, солнечная фотоэлектрическая станция, энергоэффективность, удельное энергопотребление, твердотельный СВЧ-генератор, гибридная сушка, накопление энергии.



сушки. Возможности применения солнечной энергетики в условиях Узбекистана и Бухарской области рассмотрены на примере фотоэлектрических станций Бухарского государственного университета.

Prospects for improving high-efficiency microwave-vacuum dryers based on renewable energy sources

ABSTRACT

This article examines prospects for improving high-efficiency microwave-vacuum drying technology using renewable energy sources, primarily solar photovoltaic systems. The energy characteristics of microwave-vacuum drying, its compatibility with renewable electricity, and the benefits of low-temperature drying under vacuum for product quality are discussed. Technical improvement pathways are compared, including the transition from conventional magnetrons to solid-state microwave generators, variable-frequency control of vacuum pumps, heat recovery, energy storage, and digital monitoring. Equations for moisture ratio, specific energy consumption, and drying efficiency are introduced to strengthen quantitative assessment of the process. The practical potential of solar energy in Uzbekistan, particularly in the Bukhara region, is considered using photovoltaic plants at Bukhara State University as a local case.

Key words:

microwave-vacuum drying, renewable energy, solar photovoltaic system, energy efficiency, specific energy consumption, solid-state microwave generator, hybrid drying, energy storage.

KIRISH

Qishloq xo'jaligi mahsulotlarini, xususan meva-sabzavotlarni saqlash muddatini uzaytirish va ularning iste'mol xususiyatlarini yaxshilashda quritish jarayoni muhim texnologik bosqich hisoblanadi. An'anaviy konvektiv quritishda issiqlik tashqi muhitdan mahsulot sirtiga uzatiladi va namlik ichki qatlamlardan sirtga ko'chadi. Shu sababli jarayon ko'pincha uzoq davom etadi, issiqlik yo'qotishlari ortadi va yuqori haroratga sezgir biologik faol komponentlarning saqlanishi qiyinlashadi.

Mikroto'lqin-vakuum quritish usulida esa ikki fizik omil birgalikda ishlaydi: vakuum suvning qaynash haroratini pasaytiradi, mikroto'lqin maydoni esa mahsulot hajmida qutbli molekulalarning tebranishi hisobiga issiqlik hosil qiladi. Natijada quritish 30–50 °C atrofidagi nisbatan past haroratlarda amalga oshirilishi, jarayon vaqti qisqarishi hamda rang, ta'm, tuzilma va vitaminlarning yaxshiroq saqlanishi mumkin [1].

Mikroto'lqin-vakuum quritish tizimining asosiy energetik xususiyati shundaki, mikroto'lqin generatori va vakuum nasosi elektr energiyasi bilan ishlaydi. Demak, tizimni quyosh fotoelektr, shamol yoki gibrid qayta tiklanuvchi energiya manbalari bilan bevosita integratsiyalash mumkin. Bu jihat tabiiy gaz yoki boshqa yoqilg'i asosida ishlaydigan issiq havo quritgichlariga nisbatan muhim texnologik farq hisoblanadi.

O'zbekiston sharoitida qayta tiklanuvchi energiya manbalarini kengaytirish siyosati, yuqori quyosh radiatsiyasi va yil davomida quyoshli kunlarning ko'pligi bunday integratsiya uchun amaliy zamin yaratadi [3–7]. Shu nuqtai nazardan, Mikroto'lqin-vakuum quritish texnologiyasining energiya sarfini miqdoriy baholash, generator va vakuum tizimlarini optimallashtirish hamda fotoelektr manba quvvatini quritgich yuklama profiliga mos tanlash dolzarb ilmiy-texnik masaladir.

Maqolaning maqsadi – yuqori samarali mikroto'lqin-vakuum quritgichlarning energetik xususiyatlarini tahlil qilish, quritish jarayonini baholovchi asosiy matematik ifodalarni keltirish, qayta tiklanuvchi energiya manbalari bilan integratsiyalashning texnik yechimlarini taqqoslash hamda O'zbekiston, xususan Buxoro viloyati sharoitida takomillashtirish istiqbollari asoslash.

TADQIQOT METODOLOGIYASI



Tadqiqotda tizimli adabiyotlar tahlili, qiyosiy tahlil, texnik ko'rsatkichlarni umumlashtirish va energetik hisoblash yondashuvlaridan foydalanildi. Mikroto'ldin-vakuum quritishning energiya sarfi va quritish kinetikasiga oid ilmiy ishlardagi usullar, qattiq jismlar mikroto'ldin generatorlarining texnik tavsiflari, O'zbekistondagi qayta tiklanuvchi energetika bo'yicha ochiq ma'lumotlar hamda Buxoro davlat universitetidagi fotoelektr tizimlari natijalari tahlil qilindi. Jadval va diagrammalardagi sonli qiymatlar manbalarda keltirilgan natijalar asosida tuzildi; muallif tomonidan yangi eksperimental qiymatlar to'qib kiritilmadi.

Energetik tahlilni bir xil mezonda olib borish uchun quritish jarayonida namlik nisbati (MR), solishtirma energiya sarfi (SEC) va quritish samaradorligi (η) asosiy ko'rsatkichlar sifatida qabul qilindi. Ushbu ko'rsatkichlar quritish jarayonlarini taqqoslashda xalqaro adabiyotlarda keng qo'llanadi [21–23].

ASOSIY QISM

1. Mikroto'ldin-vakuum quritish jarayonini matematik va energetik baholash

Quritish jarayonini miqdoriy baholashda mahsulot namligining vaqt bo'yicha kamayishi va buning uchun sarflangan energiya birgalikda ko'rib chiqilishi lozim. Quritish kinetikasini tavsiflovchi o'lchamsiz namlik nisbati quyidagi ifoda bilan aniqlanadi [21]:

$$MR = (M_t - M_e) / (M_0 - M_e) \quad (1)$$

bu yerda M_t – t vaqtdagi namlik miqdori, M_0 – dastlabki namlik miqdori, M_e – muvozanat namligi. M_e qiymati M_t va M_0 ga nisbatan juda kichik bo'lsa, amaliy hisoblarda $MR \approx M_t/M_0$ ko'rinishidan foydalanish mumkin [21].

Quritgichning elektr energiyasi sarfi alohida iste'molchilarning quvvati orqali baholanadi:

$$E_{total} = (P_{MW} + P_{vac} + P_{aux}) \cdot t \quad (2)$$

bu yerda P_{MW} – mikroto'ldin generatorining elektr quvvati, P_{vac} – vakuum nasosi quvvati, P_{aux} – sovitish, boshqaruv va boshqa yordamchi qurilmalar quvvati, t – ishlash vaqti. Ushbu ifoda quritgichning real umumiy elektr yuklamasini hisobga olish imkonini beradi.

Solishtirma energiya sarfi quritish jarayonida 1 kg suvni chiqarish uchun sarflangan energiyani ifodalaydi [21–23]:

$$SEC = E_{total} / m_{ev} \quad (3)$$

bu yerda m_{ev} – mahsulotdan bug'latib chiqarilgan suv massasi. SEC qancha kichik bo'lsa, quritish jarayoni energiya nuqtai nazaridan shuncha tejamkor hisoblanadi.

Quritish samaradorligini bug'latishga nazariy sarflangan issiqlikning umumiy energiya kirimiga nisbati orqali baholash mumkin [22]:

$$\eta = (m_{ev} \cdot \lambda / E_{total}) \cdot 100\% \quad (4)$$

bu yerda λ – suvning tegishli bosim va haroratdagi bug'lanish yashirin issiqligi. Vakuum sharoitida λ ni jarayon bosimiga mos termodinamik qiymat bilan olish maqsadga muvofiq.

2. Quritish usullarining taqqoslanishi

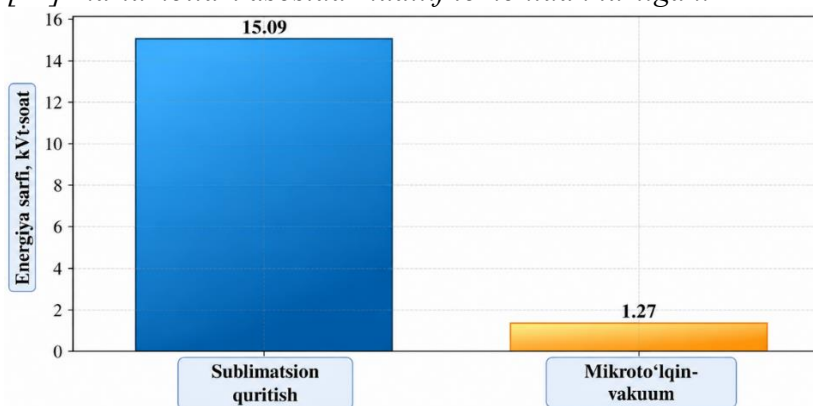
Mavjud ma'lumotlar Mikroto'ldin-vakuum quritishning ayrim mahsulotlar uchun energiya sarfi va quritish tezligi bo'yicha afzalligini ko'rsatadi. Biroq turli tadqiqotlardagi qiymatlar mahsulot turi, namlik, quvvat, vakuum darajasi va yakuniy namlik talabi bilan farqlanishi sababli, sonli natijalarni faqat ayni tajriba sharoitida talqin qilish lozim.

1-jadval.

Quritish usullarining asosiy xususiyatlari bo'yicha qiyosiy tahlil

Ko'rsatkich	Konvektiv quritish	Sublimatsion quritish	Mikroto'ldin-vakuum quritish
Issiqlik uzatilishi	Asosan sirt orqali	Muzlatish va vakuumda sublimatsiya	Hajmiy mikroto'ldin qizishi + vakuum
Jarayon harorati	Odatda yuqoriroq	Past	Taxminan 30–50 °C [1]
Jarayon tezligi	Nisbatan sekin	Juda sekin	Nisbatan tez
Mahsulot sifati	Haroratga sezgir komponentlar yo'qolishi mumkin	Yuqori	Yuqori sifatni saqlash imkoniyati
Energiya sarfi bo'yicha keltirilgan misol	Tadqiqot sharoitiga bog'liq	15,09 kVt·soat [8]	1,27 kVt·soat [8]
Qayta tiklanuvchi elektr bilan integratsiya	Elektr isitkich bo'lsa mumkin	Mumkin	Bevosita va qulay

Manba: [1], [8], [21] ma'lumotlari asosida muallif tomonidan tuzilgan.



1-rasm. Sublimatsion va mikroto'ldin-vakuum quritish energiya sarfining manbada keltirilgan tajriba misoli bo'yicha taqqoslanishi [8]

1-rasmdagi qiymatlar universal norma emas, balki [8] manbada keltirilgan aniq tajriba natijasidir. Shu sababli ularni boshqa mahsulot yoki quritgichlarga to'g'ridan-to'g'ri ko'chirish mumkin emas. Diagrammaning vazifasi Mikroto'ldin-vakuum quritishning ma'lum sharoitlarda energiya tejash salohiyatini ko'rsatishdan iborat.

3. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari bilan integratsiya

O'zbekiston sharoitida mikroto'ldin-vakuum quritish uchun eng tabiiy energiya manbai quyosh fotoelektr tizimidir. Buxoro davlat universitetidagi 300 kVt tarmoqqa ulangan fotoelektr stansiya 2023-yil fevral–oktabr oralig'ida 486,8 MVt·soat elektr energiyasi ishlab chiqargan; LCOE 0,099 AQSH dollari/kVt·soat, o'zini qoplash muddati 9,7 yil deb baholangan [2]. Universitetdagi 1210 kVt quvvatli boshqa fotoelektr tizimi esa IEC 61724 talablari asosida monitoring qilingan [11]. Mazkur tajriba Buxoro sharoitida sanoat va yarim sanoat elektr yuklamalarini PV bilan ta'minlash imkoniyatini ko'rsatadi.

Quritish sexi uchun fotoelektr tizim quvvatini dastlabki baholashda quyidagi soddalashtirilgan loyiha ifodasidan foydalanish mumkin:

$$P_{PV} = E_d / (H_{PSH} \cdot \eta_{sys}) \quad (5)$$

bu yerda P_{PV} – talab etiladigan PV quvvati (kW), E_d – quritgichning sutkalik elektr energiyasi talabi (kVt·soat/kun), H_{PSH} – ekvivalent to'liq quyosh soatlari (soat/kun), η_{sys} – inverter, kabellar, harorat va boshqa yo'qotishlarni hisobga oluvchi tizim koeffitsiyenti. Ushbu formula loyiha oldi bahosi uchun xizmat qiladi; yakuniy tanlov soatlik yuklama va quyosh radiatsiyasi profili asosida bajarilishi kerak.

2-jadval. Mikroto'ldin-vakuum quritish tizimiga qayta tiklanuvchi energiya manbalarini integratsiyalash variantlari

Variant	Asosiy afzallik	Cheklov	Tavsiya etiladigan qo'llanish
Quyosh PV	Elektr yuklamasi bilan bevosita mos; modulli	Kunduzgi va mavsumiy o'zgaruvchanlik	Buxoro va quyosh resursi yuqori hududlar
PV + akkumulyator	Quvvat uzilishlarini kamaytiradi	Boshlang'ich investitsiya va batareya degradatsiyasi	Uzluksiz yoki kechki quritish
Quyosh issiqlik + Mikroto'lqin-vakuum quritish	Dastlabki quritishda elektr yukini kamaytirishi mumkin	Ikki xil energiya konturini boshqarish talab etiladi	Ikki bosqichli gibril quritish
Quyosh + shamol	Mavsumiy/soatlik komplementarlik	Boshqaruv murakkabroq	Shamol resursi yetarli hududlar
Tarmoq + PV	Ishonchlilik va soddaroq ekspluatatsiya	Tarmoqqa bog'liqlik saqlanadi	Sanoat korxonalari uchun boshlang'ich bosqich

Manba: [12–14] hamda maqoladagi mahalliy PV tizimlari ma'lumotlari asosida muallif tomonidan tuzilgan.

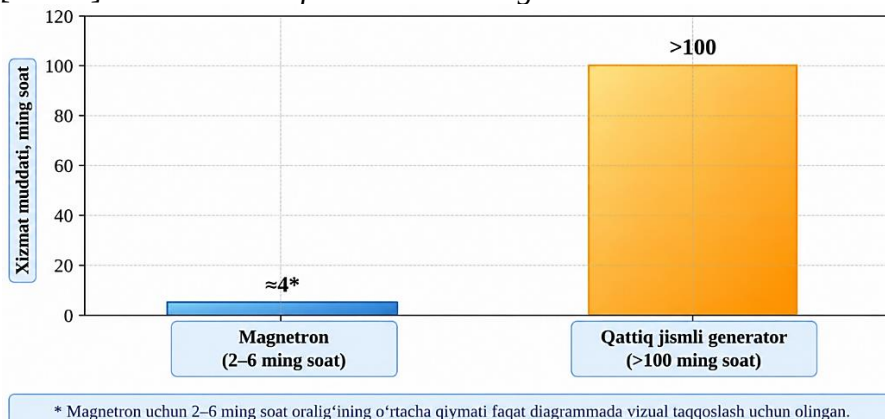
4. Mikroto'lqin generatorlarini takomillashtirish

An'anaviy magnetronlar sanoatda keng tarqalgan va elektr energiyasini mikroto'lqin energiyasiga samarali aylantiradi. Biroq ularning xizmat muddati odatda 2000–6000 soat, chiqish quvvati, chastotasi va fazasini nozik boshqarish imkoniyati cheklangan [10]. GaN va LDMOS texnologiyalariga asoslangan qattiq jismli generatorlarda drain samaradorligi taxminan 55–63 % bo'lishi mumkin, biroq xizmat muddati 100 000 soatdan ortiq, quvvatni tez va uzluksiz modulyatsiyalash, chastota va fazani boshqarish imkoniyati mavjud [15–17].

3-jadval. Magnetron va qattiq jismli mikroto'lqin generatorlarining taqqoslanishi

Mezon	Magnetron	Qattiq jismli generator
Xizmat muddati	Taxminan 2 000–6 000 soat [10]	>100 000 soat [15]
Quvvatni boshqarish	Cheklangan, ko'pincha bosqichli	Silliq va tez modulyatsiya
Chastota/faza nazorati	Cheklangan	Aniq boshqarish mumkin
Quvvat taqsimoti	Mahalliy "issiq nuqta" xavfi yuqoriroq	Ko'p manbali boshqaruv bilan bir tekislashtirish mumkin
PV bilan moslashuv	Qo'shimcha quvvat elektronikasini talab qiladi	O'zgaruvchan PV quvvatiga moslashtirish qulayroq
Boshlang'ich narx	Nisbatan past	Nisbatan yuqori

Manba: [10], [15–17] asosida muallif tomonidan tuzilgan.



2-rasm. Magnetron va qattiq jismli generatorlarning xizmat muddati bo'yicha taqqoslanishi [10, 15]

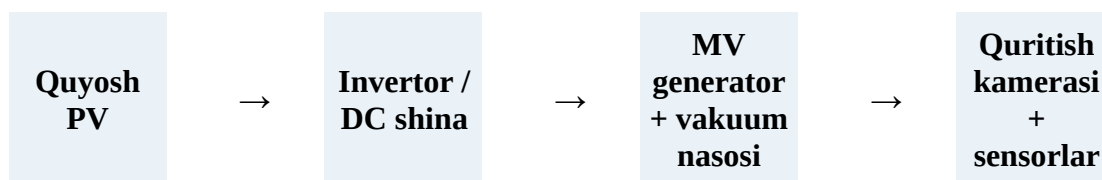
5. Vakuum, issiqlik va raqamli boshqaruv tizimlarini optimallashtirish

Vakuum nasosini o'zgaruvchan chastotali elektr yuritma (VFD) bilan boshqarish nasos quvvatini jarayon bosqichiga moslashtirish imkonini beradi. Vakuumning doimiy ravishda eng yuqori darajada ushlab turilishi har doim ham texnologik jihatdan zarur emas; bosim va bug'lanish intensivligiga mos boshqaruv elektr sarfini kamaytirishi mumkin.

Mikroto'lqin generatorining sovitish konturi va kondensatsiya bosqichidan ajraladigan issiqlikni qayta ishlatish umumiy energiya balansini yaxshilaydi. Fazaviy o'zgaruvchi materiallar yordamida issiqlikni vaqtincha saqlash yechimlari quyosh radiatsiyasi kamaygan davrda jarayon barqarorligini oshirishi mumkin [18].

Namlik, massa, harorat, vakuum bosimi va mikroto'lqin quvvatini real vaqt rejimida o'lchaydigan sensorlar energiyani mahsulotning haqiqiy holatiga qarab berish imkonini yaratadi. Bu ortiqcha quritish, lokal qizib ketish va energiya isrofini kamaytirishning muhim shartidir [19].

Raqamli boshqaruv algoritmi PV quvvati prognozi bilan bog'lansa, yuqori energiya talab qiluvchi quritish bosqichlarini quyosh radiatsiyasi eng yuqori bo'lgan vaqt oralig'iga ko'chirish mumkin. Akkumulyator esa qisqa muddatli bulutlanish yoki quvvat piklarini qoplash uchun ishlatiladi.



3-rasm. Qayta tiklanuvchi energiya asosidagi mikroto'lqin-vakuum quritish tizimining funksional tuzilmasi

Energiya saqlash tizimi DC shina yoki invertor orqali tizimga parallel ulanadi; boshqaruv moduli sensorlar ma'lumotiga ko'ra mikroto'lqin quvvati, vakuum darajasi va quritish vaqtini muvofiqlashtiradi.

6. O'zbekiston va Buxoro viloyati sharoitida joriy etish istiqbollari

O'zbekistonning yuqori quyosh resursi va qishloq xo'jaligi mahsulotlarini chuqur qayta ishlashga bo'lgan ehtiyoji quyosh energiyasi asosidagi Mikroto'lqin-vakuum quritish texnologiyasini istiqbolli yo'nalishga aylantiradi. Buxoro hududida kunlik o'rtacha quyosh energiyasi ko'rsatkichi ayrim tadqiqotlarda 5,9 kVt·soat/m² atrofida baholangan [2]. Bu ko'rsatkich PV asosidagi quritish tizimlarini tajriba-sinovdan o'tkazish uchun qulay.

Birinchi bosqichda kichik quvvatli modulli tajriba qurilmasi yaratilib, mahalliy uzum, o'rik, olma yoki qovun mahsulotlari uchun optimal vakuum bosimi, mikroto'lqin quvvati va yakuniy namlik qiymatlari aniqlanishi lozim. Har bir tajribada MR, SEC, η , quritish vaqti, mahsulot harorati va sifat ko'rsatkichlari birgalikda qayd etilishi ekspert bahosi uchun ishonchli eksperimental baza yaratadi.

Ikkinchi bosqichda quritgichning sutkalik va soatlik elektr yuklama profili bilan PV ishlab chiqarish profili birlashtiriladi. Shundan so'ng akkumulyator sig'imi va PV quvvati texnik-iqtisodiy optimallashtiriladi. Tarmoq bilan parallel ishlaydigan gibrid sxema dastlabki tajribalar uchun xavfsizroq va iqtisodiy jihatdan boshqariladigan variant bo'lishi mumkin.

Asosiy cheklovlar – qattiq jisimli generator, vakuum tizimi va energiya saqlash qurilmasining boshlang'ich narxi; maxsus elektromagnit va vakuum xavfsizligi talablari; shuningdek mahalliy sanoat namunalari cheklanganligidir. Shu sababli mahalliyashtirish, servis infratuzilmasi va standartlashtirish masalalari keyingi tadqiqotlarda alohida ko'rib chiqilishi zarur.

XULOSA

O'tkazilgan tahlil mikroto'lqin-vakuum quritish texnologiyasi elektr energiyasiga asoslanganligi sababli quyosh fotoelektr va boshqa qayta tiklanuvchi energiya manbalari bilan integratsiyalash uchun qulay ekanini ko'rsatdi. Vakuum sharoitida past haroratli quritish va



mikroto'ldinning hajmiy qizdirishi jarayon vaqtini qisqartirish va mahsulot sifatini saqlash imkonini beradi.

Maqolada quritish jarayonini ekspert darajasida miqdoriy baholash uchun MR, umumiy energiya sarfi, SEC va η formulalari kiritildi. Taqqoslovchi jadvallar magnetron va qattiq jisimli generatorlar, energiya manbalari hamda quritish usullarining afzallik va cheklovlarini tizimli ko'rsatdi. Diagrammalar mavjud manbalardagi sonli natijalarni vizual ravishda ochib berdi.

O'zbekiston, ayniqsa Buxoro viloyatida yuqori quyosh resursi va mavjud fotoelektr tajribasi tajriba-sinov Mikroto'ldin-vakuum quritish qurilmasini yaratish uchun yetarli tabiiy va ilmiy-texnik baza mavjudligini ko'rsatadi. Keyingi bosqichda mahalliy mahsulotlar uchun eksperimental quritish egri chiziqlari, energiya balanslari va texnik-iqtisodiy optimallashtirish natijalarini olish zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. How Does Vacuum Microwave Drying Differ From Other Drying Methods? EnWave Corporation, texnik sharh, 2026.
2. Raxmatov I., Samiyev K., Mirzayev M. Analysis of the efficiency of 300 kW grid-connected solar photovoltaic systems at Bukhara State University. Buxoro davlat universiteti ilmiy-elektron resurslar bazasi, 2023.
3. O'zbekiston qayta tiklanuvchi energiya manbalari quvvatini 27 gigavattga oshirmoqchi. Kun.uz, 16.11.2024.
4. Prezident Shavkat Mirziyoyev qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanishni kengaytirish masalalariga bag'ishlangan yig'ilish o'tkazdi. Prezident matbuot xizmati materiallari, 2024.
5. 2030-yilgacha O'zbekistonda "yashil" energetikani rivojlantirish rejalari. Ochiq axborot manbasi.
6. Quyosh fotoelektr stansiyalari loyihalari bo'yicha texnik-iqtisodiy hisobot: Samarqand va Jizzax viloyatlari. O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligi.
7. Solar radiation potential across Uzbekistan's climatic zones: GHI analysis. Ilmiy nashr.
8. Freeze Drying vs Microwave Drying. EnWave Corporation, texnik-tahliliy material.
9. Energy efficiency and drying rates during vacuum microwave drying of wood. European Journal of Wood and Wood Products, 2004.
10. High-power solid-state microwave generator for RF energy applications. US Patent No. 10,720,310 B2.
11. Khikmatov B., Mirzaev M., Samiev K., Khamidov O. Performance analysis of 1210 kW grid-connected solar photovoltaic systems at Bukhara State University. Buxoro davlat universiteti ilmiy-elektron resurslar bazasi.
12. Hybrid energy sources for drying: Solar energy conversion to microwave energy for agricultural and mineral applications. Drying Technology, 2026, 44(3), 287–289.
13. Korkua S.K., Khongtong S., Ray P.K., Thinsurat K. Cleaner Potential for Natural Rubber Drying Process Using Microwave Technology Powered by Solar Energy. Energies, 2022, 15, 6564.
14. O'zbekistonda "yashil" energetika ulushi 45% dan oshdi. Spot.uz, 25.06.2026.
15. GaN va LDMOS asosidagi sanoat mikroto'ldin generatorlarining texnik xususiyatlari. RFHIC Corporation va EverythingRF texnik ma'lumotlari.
16. Bianchi C., Schmid R., Frick D. Microwave Assisted Vacuum Drying Processing: Magnetron vs Solid State – A Case Study of Apple Drying. COMSOL Conference materials.
17. Atuonwu J.C., Tassou S.A. Quality assurance in microwave food processing and the enabling potentials of solid-state power generators: A review. Journal of Food Engineering, 2018, 234, 1–15.
18. Kushimov B.A., Mamadaliyev X.J. Qishloq xo'jaligi hamda meva-sabzavot mahsulotlari quritish uchun energiya tejamkor qurilma va texnologiya. Oriental Renaissance, 2021, 1(9), 869–879.
19. An N.-n., Li D., Wang L.-j., Wang Y. Factors Affecting Energy Efficiency of Microwave Drying of Foods: An Updated Understanding. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2024, 64(9), 2618–2633.



20. Meva-sabzavot mahsulotlarini qayta ishlash va eksport qilish tendensiyalari. “Tendensii razvitiya fiziki kondensirovannix sred – 2024” xalqaro konferensiya materiallari, Farg‘ona davlat universiteti.
21. Rasooli Sharabiani V., Kaveh M., Abdi R., Szymanek M., Tanaś W. Estimation of moisture ratio for apple drying by convective and microwave methods using artificial neural network modeling. *Scientific Reports*, 2021, 11, 9155. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88270-z>.
22. El-Mesery H.S., Jibril A.N., Hu Z., ElMesiry A.H., Zhang X., Njobeh P.B., Mahdi A.A. Microwave drying effects on modeling thin-layer drying kinetics, energy efficiency analysis, and physical properties of garlic. *Scientific Reports*, 2026, 16, 23105. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-53293-x>.
23. Vacuum Microwave Drying as an Efficient Alternative to Hot Air Drying: Optimization, Drying Kinetics, and Quality Retention of Washington Navel Orange Slices. *Applied Sciences*, 2026, 16(7), 3530.