Article

Oqova suvlarni impulsli elektr maydon bilan zararsizlantirish elektrotexnologiyasi.

A.A. Turdibayev [1] ,A.M. Aytuganova [1]

[1] "Toshkent irrigatsiya va qishloq xojaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" Milliy tadqiqot universiteti Elektrotexnologiya va elektr uskunalar ekspluatatsiyasi kafedrasi, Toshkent, 100000, O'zbekiston
a.turdibaev@tiiame.uz' (A.T.), aituganova_aisha@mail.ru (A.A.)
* Correspondence: a.turdibaev@tiiame.uz'; Tel.: +998995213583 (A.T.)

Annotatsiya: Mazkur maqolada oqova suvlarni impulsli elektr maydon (PEF – Pulsed Electric Field) texnologiyasi yordamida zararsizlantirishning nazariy asoslari, texnologik jarayoni va energiya samaradorligi tahlil qilingan. Oqova suvlar tarkibidagi bakteriyalar, viruslar, zamburug'lar va boshqa patogen mikroorganizmlarni yo'q qilishning an'anaviy usullari (xlorlash, ozonlash, ultrabinafsha nurlanish va membranali filtrlash) bilan bir qatorda impulsli elektr maydon texnologiyasining afzalliklari ko'rib chiqilgan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, yuqori kuchlanishli qisqa impulslar ta'sirida mikroorganizmlar hujayra membranasida elektroporatsiya hodisasi yuzaga kelib, ularning inaktivatsiyasi sodir bo'ladi. Ushbu texnologiya yordamida E.coli bakteriyalarini 99%, Salmonella bakteriyalarini 99,9% gacha zararsizlantirish mumkinligi aniqlangan. Shuningdek, impulsli elektr maydon bilan ishlov berish qurilmasining konstruktiv sxemasi, asosiy texnologik parametrlari va energiya sarfi modellari ishlab chiqilgan. Hisob-kitoblar natijasida bir sutkada 40 m³ oqova suvni zararsizlantirish uchun quvvati 25–30 Vt bo'lgan generator yetarli ekanligi aniqlangan. Tadqiqot natijalari impulsli elektr maydon texnologiyasining ekologik xavfsiz, energiya tejamkor va istiqbolli usul ekanligini ko'rsatadi. Ishlab chiqarish korxonalaridan chiqadigan oqova suvlarni turli zararli bakteriyalardan zararsizlantirishning samarador elektrotexnologiyasini ishlab chiqish. Impulsli elektr maydon yordamida oqova suvlardagi E.coli bakteriyalarini 99%, Salmonella bakteriyalarini 99,9% gacha zararsizlantiriladi. Olib borilgan tadqiqotlar natijasida oqova suvlarni impulsli elektr maydon yordamida zararsizlantirish texnologiyasi yuqori samaradorlikka ega ekanligi aniqlandi.

Kalit so'zlar: oqova suv, impulsli elektr maydon, elektroporatsiya, zararsizlantirish, energiya samaradorligi, mikroorganizmlar, E.coli.

Electrical technology of wastewater disinfection using a pulsed.

Abduvali A. Turdibaev [1], Aysha M. Aituganova

[1] Department of Electrical Technology and Operation of Electrical Equipment National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers", Tashkent, 100000, Uzbekistan

a.turdibaev@tiiame.uz (A.T.,), aituganova_aisha@mail.ru (A.A.,)

Iqtibos: A.A. Turdibayev, A.M. Aytuganova. Irrigatsiya va melioratsiya. **2026**, 12,3, 1. https://doi.org/10.35938/IM-2026-12-00008

Olingan: 29.06.2026
Tuzatilgan: 18.07.2026
Qabul qilingan: 25.08.2026
Nashr qilingan: 07.09.2026

Copyright:

OPEN ACCESS

Check for updates

CC BY

Abstract:
This article analyzes the theoretical foundations, technological process, and energy efficiency of wastewater disinfection using pulsed electric field (PEF) technology. The advantages of PEF technology are considered along with traditional methods of destroying bacteria, viruses, fungi, and other pathogens in wastewater (chlorination, ozonation, ultraviolet radiation, and membrane filtration). The study shows that exposure to high-voltage short pulses induces electroporation in the cell membrane of microorganisms, inactivating them. It has been established that this technology is capable of neutralizing E. coli bacteria by 99% and Salmonella bacteria by 99.9%. A design diagram, key process parameters, and energy consumption models for a device for treating wastewater using a pulsed electric field are also developed. Calculations have shown that a generator with a power of 100–120 W is sufficient to neutralize 180 m³ of wastewater per day. Research results show that pulsed electric field technology is an environmentally friendly, energy-efficient and promising

method. To develop an effective electrotechnology for the disinfection of wastewater from various harmful bacteria from industrial enterprises. Briefly describe the main methods or approaches used in the study. Using a pulsed electric field, E. coli bacteria in wastewater are neutralized by 99% and Salmonella bacteria by 99.9%. As a result of the studies conducted, it was found that the technology for the disinfection of wastewater using a pulsed electric field is highly effective.

Keywords: wastewater, pulsed electric field, electroporation, disinfection, energy efficiency, microorganisms, E. coli.

Kirish

Suv tanqisligi va suvning ifloslanishi, toza suv va yetarli sanitariya sharoitlariga rioya qilmaslik ko‘plab salbiy oqibatlarga olib keladigan asosiy global ekologik muammolardan biri bo‘lib qolmoqda. BMTning so‘nggi ma’lumotlariga ko‘ra, 2.1 milliard kishi hali ham xavfsiz boshqariladigan ichimlik suvidan foydalanish imkoniyatiga ega emas, 3.4 milliard kishi esa xavfsiz boshqariladigan sanitariya xizmatlaridan mahrum. Aholini toza suv bilan ishonchli ta’minlash imkoni bo‘lmasa, boshqa barcha sohalarni rivojlantirish muammolarini hal qilishni qiyinlashtiradi. Chunki dunyo aholisining yarmi yetarli suv, sanitariya va gigiyena xizmatlaridan foydalanish imkoniyatiga ega emas. Bu kasallik xavfini oshiradi [1].

Jahonda atrof-muhitni ifloslanishdan saqlash va tabiiy resurslardan oqilona foydalanish hozirgi davrning asosiy muammolaridan biri hisoblanadi. Bugungi kunda oqova suvlarni tozalash va zararsizlantirishda energiya-resurstejamkor texnologiya va texnika vositalarini qo‘llash yetakchi o‘rinlardan birini egallamoqda. Dunyo miqyosida kuniga taxminan 1.04 milliard m^3 oqova suv hosil bo‘ladi. Bundan sanoat sektori global oqova suvning ∼22–25%, uy-joy sektori (maishiy chiqindilar) ∼50% va qishloq xo‘jaligi ∼25–30% qismini tashkil etadi. Bu suvlarni zararsizlantirish va tozalash uchun ekologik toza, energiya tejamkor va sifatli amalga oshiradigan mashinalarni amaliyotga joriy etishni taqozo etadi. Shu jihatdan oqova suvlarni zararsizlantirish uchun ish sifati yuqori hamda energiya-resurstejamkor texnika vositalari va qurilmalaridan foydalanish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2026-yil 16-fevraldagi “Mamlakat taraqqiyotining 2030-yilgacha mo‘ljallangan ustuvor yo‘nalishlari doirasida islohotlarni izchil davom ettirish va yangi bosqichga olib chiqishning qo‘shimcha chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PF-21-sonli farmonining 1-ilovasiga muvofiq tasdiqlangan “O‘zbekiston – 2030” strategiyasining Suv resurslarini tejash va atrof-muhitni muhofaza qilish bandida sanoat oqova suvlari darajasi va sifati to‘g‘risidagi ma’lumotlarni doimiy ravishda rasmiy veb-saytlarda va ommaviy axborot vositalarida jamoatchilik uchun e’lon qilib borish amaliyotini yo‘lga qo‘yish, atrof-muhitga ta’siri bo‘yicha I va II toifaga kiruvchi xo‘jalik yurituvchi subyektlardagi ifloslantiruvchi texnologiyalarni to‘liq modernizatsiya qilish, 249 ta sanoat korxonalarida lokal oqova suvlarni tozalash inshootlarini qurish va rekonstruksiya qilish masalalariga alohida e’tibor qaratilgan [2].

Ishlab chiqarish korxonalaridan chiqadigan oqova suvlarni zararsizlantirish orqali atrof-muhitni, insoniyat salomatligini asrash va mazkur faoliyatga tegishli boshqa me’yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu tadqiqot ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

Xo‘jalik oqova suvlar tarkibi taxminan 60% organik va 40% mineral ifloslikllardan iborat. Sanoat oqova suvlari tarkibi ishlab chiqarish xomashyosiga va texnologik jarayonga bog‘liq holda o‘zgaradi.

Oqova suvlar – inson faoliyati, xo‘jalik va sanoat faoliyati natijasida hosil bo‘lgan ifloslangan suvlar hisoblanadi. Ularga quyidagilar kiradi:

1. **Organik moddalar:** oziq-ovqat qoldiqlari, o‘simlik va hayvon yog‘lari va boshqa biologik chiqindilar.
2. **Noorganik moddalar:** minerallar, tuzlar, metallar, qum va loy zarralari.
3. **Kimyoviy birikmalar:** yuvish vositalari, erituvchilar, yog‘lar, og‘ir metallar (simob, qo‘rg‘oshin, kadmiy).
4. **Mikroorganizmlar:** bakteriyalar, viruslar, qo‘ziqorinlar, parazitlar.
5. **Toksik moddalar:** pestitsidlar, gerbitsidlar, farmatsevtika chiqindilari.
6. **Neft mahsulotlari:** yoqilg‘i qoldiqlari, dvigatel moylari.

Oqova suvlarni zararsizlantirishning ahamiyati

1. **Aholi salomatligini muhofaza qilish:** zararsizlantirish patogen mikroorganizmlarni (bakteriyalar, viruslar, parazitlar) yo‘q qiladi, vabo, gepatit, dizenteriya kabi infeksiyalarning tarqalishining oldini oladi.
2. **Atrof-muhitni muhofaza qilish:** to‘g‘ri zararsizlantirish qilinmasa, ifloslangan oqova suv ekotizimlarga zarar yetkazishi, suv havzalari muvozanatini buzishi va baliq, suv o‘simliklari va boshqa organizmlarning o‘limiga olib kelishi mumkin.
3. **Zaharli moddalar to‘planish xavfini kamaytirish:** oqova suvlar tarkibidagi zaharli moddalar va og‘ir metallar tuproqda, suvda va tirik organizmlarda to‘planib, atrof-muhit va inson salomatligi uchun uzoq muddatli oqibatlarga olib kelishi mumkin.
4. **Suvni qayta ishlatish:** zararsizlantirish oqova suvlarni qishloq xo‘jaligida, sanoatda yoki hatto ichimlik suvi uchun (qat’iy nazorat ostida) qayta foydalanish uchun mos darajaga qadar tozalash imkonini beradi.
5. **Huquqiy normalarga rioya qilish:** ko‘pgina mamlakatlar suvni atrof-muhitga chiqarishdan oldin sifat standartlariga qat’iy rioya qilishni talab qiladi.

Zararsizlantirish usullariga fizik (mexanik), kimyoviy (masalan, xlorlash) va biologik tozalash usullari mavjud.

Bakteriologik ifloslarga tirik mikroorganizmlar (xamirturush, *E. coli*, zamburug‘lar va har xil bakteriyalar) kiradi. Shuningdek, xo‘jalik oqova suvlarida turli kasallik qo‘zg‘atuvchi bakteriyalar (ichterlama, sibir yarasi, ichburug‘, paratif va boshqa bakteriyalar) hamda oqova suvlar tarkibida odam va hayvonlardan kelib tushadigan parazit chuvalchanglar, gijjalar va ular tug‘diradigan kasalliklar tuxumlari ham mavjud.

Kasallik keltiruvchi bakteriyalar ayrim sanoat oqova suvlarida ham bo‘ladi, misol uchun, teri ishlab chiqarish zavodi, junga birlamchi ishlov berish fabrikalari va boshqalarda. Oqova suvlar tarkibidagi iflosliklar fizik holati bo‘yicha erigan, erimagan va kolloid ko‘rinishida bo‘ladi:

1. Oqova suvlar tarkibidagi erimaydigan moddalar qo‘pol, bir-biriga singimaydigan bo‘lib, zarrachalar qiymati 100–0.1 μm ga teng.
2. Kolloid moddalar (suvda quyuq eritma hosil qiladigan oqsil moddalar) zarrachalari 0.1 dan 0.001 μm ga teng.
3. Erigan moddalar, molekulyar-dispersli (molekulyar mayda zarrachalar) zarrachalardan iborat bo‘lib, qiymati 0.001 μm dan kichik (haqiqiy eritma).

Shuningdek, oqova suvlar tarkibidagi suzib yuruvchi muallaq moddalar cho‘kadigan va cho‘kmaydigan bo‘ladi. Cho‘kadigan moddalarga oqova suvlarni 2 soat davomida tindirish natijasida hosil bo‘ladigan cho‘kma moddalar kiradi. Cho‘kmaydigan moddalarga esa shu davr davomida cho‘kmagan moddalar kiradi. Oqova suvlardagi moddalar konsentratsiyasi, asosan, oqova suvlar me’yoriga bog‘liq bo‘ladi, ya’ni oqova suvlar me’yori qancha ko‘p bo‘lsa, ularning ifloslik konsentratsiyasi shuncha kam bo‘ladi va aksincha [3].

Oqova suvlarni zararsizlantirish bo‘yicha olib borilgan adabiyotlar tahlili va hozirda mavjud qo‘llanilayotgan usullarni hisobga olgan holda [4–8], oqova suvlarni zararsizlantirish usullarini uchta asosiy guruhga bo‘lish mumkin. Bular: kimyoviy, fizik va tabiiy biotsenozlarda zararsizlantirish usullaridir.

Oqova suvlarni zararsizlantirish – bu oqova suv tarkibidagi patogen mikroorganizmlarni atrof-muhitga chiqishi yoki suvdan qayta foydalanishning oldini olish uchun ularni yo‘q qilish yoki zararli mikroorganizmlarni nobud qilish jarayoni hisoblanadi. Zararsizlantirishning turli usullari mavjud, ularning har biri o‘zining afzalliklari, kamchiliklari va qo‘llanilishi sohalariga ega (rasm 1).

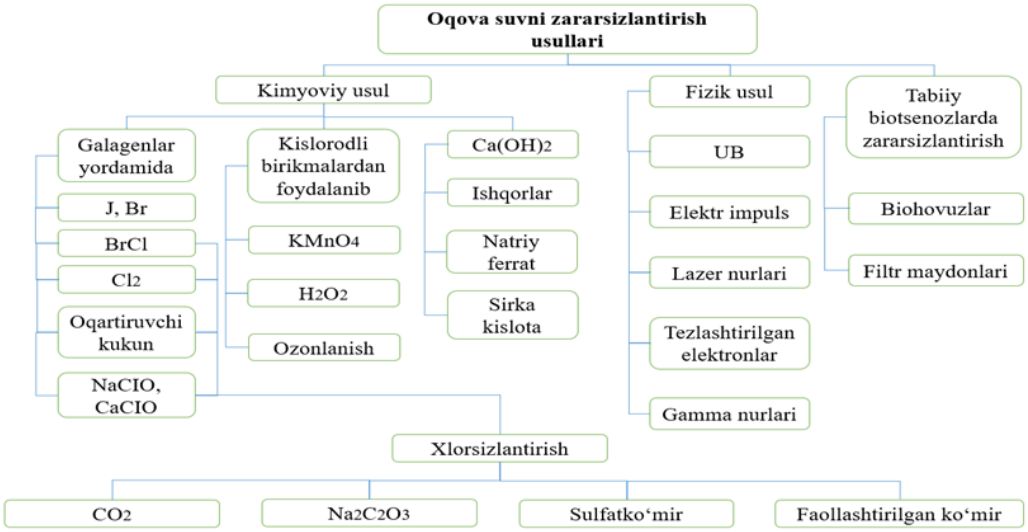

Figure 1. Classification of wastewater disinfection methods

Rasm 1. Oqova suvlarni zararsizlantirish usullarining tasnifi.

Oqova suvlarni zararsizlantirish usullari bo'yicha qisqacha adabiyotlar tahlili. Oqova suvlarni zararsizlantirish suv tarkibidagi patogen mikroorganizmlar, bakteriyalar, viruslar va boshqa biologik ifloslantiruvchilarni yo'q qilishga qaratilgan jarayondir. Hozirgi vaqtda dunyo amaliyotida oqova suvlarni zararsizlantirishning fizik, kimyoviy va elektrofizik usullari keng qo'llanilmoqda.

Xlorlash usuli. Xlorlash oqova suvlarni zararsizlantirishning eng qadimiy va keng tarqalgan usullaridan biri hisoblanadi. Ushbu usulda xlor, natriy gipoxlorit yoki xlor dioksid kabi reagentlar qo'llaniladi. Xlor mikroorganizmlar hujayra devorlarini oksidlab, ularning hayot faoliyatini to'xtatadi. Adabiyotlarda (Metcalf Eddy, 2014; Tchobanoglous va boshq., 2014) [9] qayd etilishicha, xlorlash usuli yuqori dezinfeksiya samaradorligiga ega bo'lsa-da, suvda trigalometanlar va boshqa kanserogen yon mahsulotlarning hosil bo'lishiga sabab bo'lishi mumkin. Bundan tashqari, reagentlarni saqlash va tashish xavfsizlik choralarini talab qiladi.

Ozonlash usuli. Ozon (O_3) kuchli oksidlovchi bo'lib, bakteriyalar, viruslar va organik moddalarni tez parchalaydi. Ozonlash natijasida suvda zararli qoldiq moddalar deyarli hosil bo'lmaydi. Von Gunten (2003) va Rice (2018) tadqiqotlariga ko'ra, ozonlash xlorlashga nisbatan yuqori dezinfeksiya samaradorligini ta'minlaydi. Biroq, ozonning beqarorligi sababli uni bevosita foydalanish joyida ishlab chiqarish talab etiladi, bu esa energiya sarfini oshiradi [10].

Ultrabinafsha (UB) nurlanish usuli. UB-nurlanish mikroorganizmlarning DNK va RNK tuzilmasini buzib, ularning ko'payishini to'xtatadi. So'nggi yillarda ekologik xavfsizligi sababli ushbu usul keng tarqalmoqda. Bolton va Cotton (2011) ma'lumotlariga ko'ra, UV dezinfeksiya usuli kimyoviy reagentlardan foydalanishni talab qilmaydi va suvning fizik-kimyoviy tarkibini o'zgartirmaydi. Kamchiligi sifatida suvning loyqaligi ortishi bilan samaradorlikning pasayishi qayd etilgan [11].

Membranali filtrlash usullari. Mikrofiltratsiya, ultrafiltratsiya va nanofiltratsiya texnologiyalari mikroorganizmlarni mexanik usulda ajratib olish imkonini beradi. Ushbu usullar suvni qayta foydalanishga tayyorlashda muhim ahamiyatga ega. Judd (2011) tadqiqotlariga ko'ra, membranali texnologiyalar yuqori sifatli tozalangan suv olish imkonini beradi, ammo membranalarning ifloslanishi (fouling) va yuqori ekspluatatsion xarajatlar ularning asosiy kamchiligi hisoblanadi [12].

Elektroimpuls va impulsli elektr maydon usullari. So'nggi yillarda ekologik toza va energiya tejamkor texnologiyalar qatorida impulsli elektr maydon (Pulsed Electric Field – PEF) usuli katta qiziqish uyg'otmoqda. Ushbu texnologiyada qisqa davomiylikdagi yuqori kuchlanish impulslaridan foydalaniladi. Natijada mikroorganizmlar hujayra membranasida elektroporatsiya hodisasi yuz beradi va hujayralar nobud bo'ladi. Toepfl va boshq. (2006) [13], Heinz va boshq. (2003) [14] hamda Barbosa-Cánovas va Zhang (2001) [15] tadqiqotlarida impulsli elektr maydon yordamida bakteriyalar sonini 90–99,9 foizgacha kamaytirish mumkinligi ko'rsatilgan. Ushbu usulning afzalliklari reagent

talab qilmasligi, ekologik xavfsizligi va avtomatlashtirish imkoniyatlarining yuqoriligidir. Kamchiligi sifatida yuqori kuchlanish generatorlarining murakkabligi va dastlabki investitsiya xarajatlarining nisbatan kattaligi qayd etiladi.

Kombinatsiyalashgan texnologiyalar. Zamonaviy tadqiqotlarda UB + ozon, ozon + vodorod peroksid, PEF + UB, PEF + ozon kabi kombinatsiyalashgan usullar samaradorlikni oshirishi aniqlangan. Ushbu texnologiyalar mikroorganizmlarni zararsizlantirish bilan birga organik ifloslantiruvchilarni ham parchalaydi.

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, oqova suvlarni zararsizlantirishda xlorlash, ozonlash va UB-nurlanish usullari eng keng qo‘llaniladigan texnologiyalar hisoblanadi. Biroq, ekologik xavfsizlik va energiya samaradorligini oshirish talablari impulsli elektr maydon kabi innovatsion texnologiyalarga bo‘lgan qiziqishni oshirmoqda. Ayniqsa, impulsli elektr maydon usuli kimyoviy reagentlardan foydalanmasligi, mikroorganizmlarni samarali inaktivatsiya qilishi va avtomatlashtirilgan tizimlarga integratsiyalash imkoniyati bilan istiqbolli yo‘nalish sifatida baholanmoqda.

Materiallar va usullar

Impulsli elektr maydon (IEM, inglizcha Pulsed Electric Field – PEF) texnologiyasi suvni dezinfeksiya qilishning zamonaviy fizik usullaridan biri hisoblanadi. Ushbu usulda suvga qisqa davomiylikdagi (mikrosekund–millisekund) va yuqori kuchlanishli elektr impulslari ta’sir ettiriladi. Natijada suv tarkibidagi bakteriyalar, viruslar, zamburug‘lar va boshqa mikroorganizmlarning hujayra membranalari buzilib, ular nobud bo‘ladi. Mazkur texnologiya kimyoviy reagentlar qo‘llanilmasligi, energiya sarfining nisbatan kamligi va ekologik xavfsizligi bilan ajralib turadi. 2-rasmda texnologiyaning ishlash prinsipi keltirilgan (rasm 2).

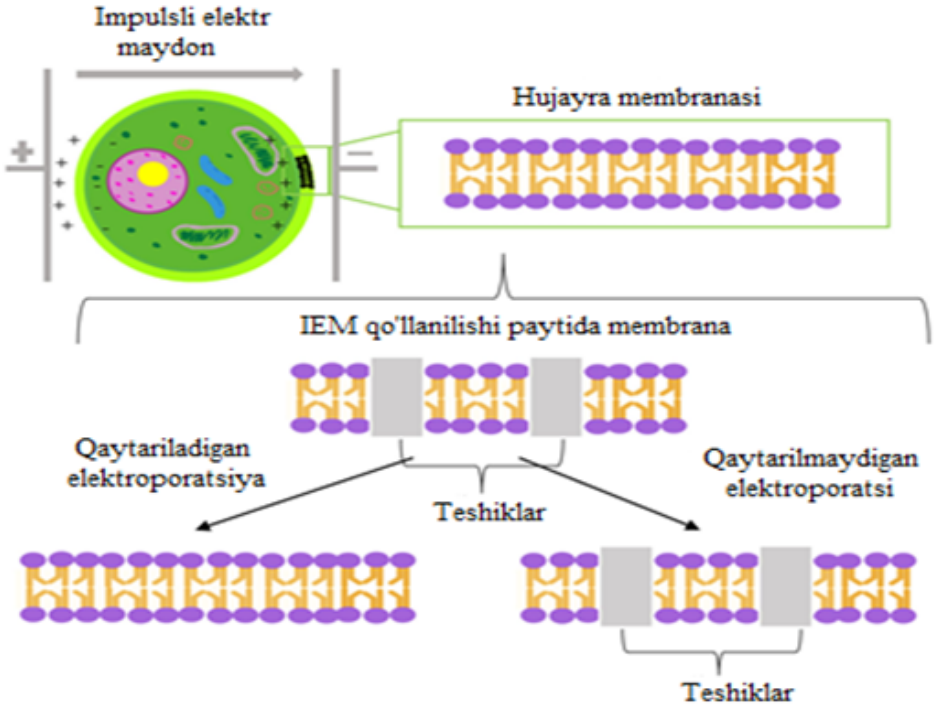

Figure 2. Effect of pulsed electric field on the cell membrane and operating principle of the technology

Rasm 2. Impulsli elektr maydonning hujayra mebranasiga ta’siri va texnologiyaning ishlash prinsipi.

Impulsli elektr maydon suv orqali o‘tkazilganda mikroorganizmlar hujayralarida elektr potensial hosil bo‘ladi.

Agar hosil bo‘lgan transmembran potensial kritik qiymatdan (0.5–1 V) oshsa, hujayra membranasida mikroteshiklar paydo bo‘ladi. Bu hodisa *elektroporatsiya* deb ataladi.

Jarayon quyidagi bosqichlarda amalga oshadi:

1. Suv elektrodlar orasidan oqib o‘tadi.
2. Yuqori kuchlanishli impuls hosil qilinadi.
3. Mikroorganizmlar elektr maydoni ta’siriga uchraydi.
4. Membranada mikroteshiklar hosil bo‘ladi.
5. Hujayra ichki muvozanati buziladi.
6. Mikroorganizmlar inaktivatsiyalanadi yoki nobud bo‘ladi.

Jarayonning fizik mohiyati shundan iboratki, hujayra membranasida potensial hosil bo‘ladi.

$$\Delta U = 1.5E \cdot r \cdot \cos\theta \tag{1}$$

bunda E – elektr maydon kuchlanganligi (V/m), r – hujayra radiusi (m), θ – maydon yo‘nalishi bilan bog‘liq burchak.

$$\Delta U_{kr} \approx 1 \text{ V} \tag{2}$$

Hujayra membranasida potensial kritik qiymatga yetganida membrana parchalanishi boshlanadi:

Natijalar

Impulsli elektr maydon bilan oqova suvlarni zararsizlantirish qurilmasining tuzilishi va asosiy elementlari.

1. Yuqori kuchlanish manbai. Transformator yordamida kuchlanish 5–50 kV ga yetkaziladi va kondensatorlarni zaryadlaydi.

2. Impuls generatori. Mikrosekund davomiylikdagi impulslarni hosil qiladi. Yoki uchqunli kommutatorlardan foydalaniladi.

3. Ishchi kamera. Bu elektrodlar joylashtirilgan qism bo‘lib, suv shu hududdan o‘tadi.

4. Boshqaruv tizimi. Impuls chastotasi va amplitudasini nazorat qiladi. Qurilmaning texnologik sxemasi 3-rasmda keltirilgan (rasm 3).

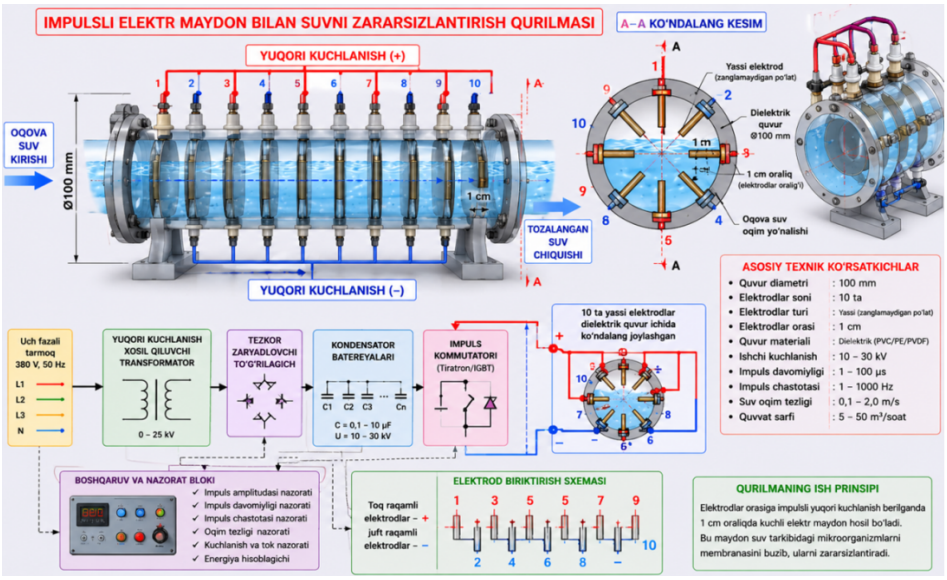

Figure 3. Wastewater disinfection device using pulsed electric field and its technological scheme

Rasm 3. Oqova suvlarni impulsli elektr maydon bilan zararsizlantirish qurilmasi va texnologik sxemasi.

Table 1. Main technological parameters of the device for wastewater disinfection using pulsed electric field.
Jadval 1. Oqova suvlarni impulsli elektr maydon bilan zararsizlantirish qurilmasining asosiy texnologik parametrlar.

Parametr	Qiymat
Elektr maydon kuchlanganligi	10–100 kV/sm
Impuls davomiyligi	1–100 mks
Impuls chastotasi	1–1000 Gs
Kuchlanish	5–50 kV
Energiya sarfi	10–150 kJ/m^3
Harorat	20–40°C

Table 2. Efficiency of wastewater disinfection from microorganisms using pulsed electric field according to research results.
Jadval 2. Tadqiqotlar natijalariga ko‘ra Impulsli elektr maydon yordamida oqova suvdagi mikroorganizmlarni zararsizlantirish samaradorligi.

Mikroorganizm	Zararsizlantirish darajasi
E.coli	99.9–99.999%
Salmonella	99.9%
Staphylococcus aureus	99%
Xamirturushlar	95–99%
Mog‘orlar	90–99%

Oqova suvlarni impulsli elektr maydon bilan zararsizlantirishning afzalliklari. 1. Energiya tejamkorligi. Issiqlik bilan sterilizatsiyaga qaraganda energiya sarfi kam.

2. Suvni zararsizlantirishda kimyoviy moddalar talab qilinmaydi. Ya’ni xlor va boshqa reagentlar ishlatilmaydi.

3. Ekologik tozaligi. Zararli ikkilamchi mahsulotlar hosil bo‘lmaydi.

4. Tezkor ishlashi. Suvni zararsizlantirish jarayon mikrosekundlarda amalga oshadi. Suv sifatiga ta’sir etmaydi, suvning ta’mi, hidi va mineral tarkib deyarli o‘zgarmaydi.

Kamchiliklari: yuqori kuchlanishli uskunalar talab etiladi, boshlang‘ich investitsiya xarajati yuqori, elektrodlarning korroziyasi vujudga kelishi mumkin va loyqaligi yuqori suvlar uchun zararsizlantirish samaradorlik past.

Oqova suvlarni impulsli elektr maydon bilan zararsizlantirishning energiya samaradorligi modeli. Bunda bitta impuls energiyasi quyidagi ifoda yordamida aniqlaniladi.

$$W_i = \frac{1}{2}CU^2 \tag{3}$$

bunda C – kondensator sig‘imi (F), U – kuchlanish (V).

Oqova suvlarni impulsli elektr maydon bilan zararsizlantirishda umumiy energiya sarfi berilayotgan impulslar soniga bog‘liq.

$$W_i = n\frac{1}{2}CU^2 \tag{4}$$

bunda n – impulslar soni.

Solishtirma energiya sarfi esa quyidagi ifodadan aniqlaniladi:

$$\omega = \frac{W}{V} \tag{5}$$

Impulsli elektr maydon bilan ishlov berish usuli, ichimlik suvlarini zararsizlantirish. oqova suvlarni tozalash, oziq-ovqat sanoatidagi texnologik suvlarni zararsizlantirish, tibbiyot

va farmatsevtika korxonalarida, qishloq xo‘jaligida ekinlarni sug‘orishda islatiladigan suvlarini tayyorlash va baliqchilik va akvakultura tizimlarida qo‘llanilishi mumkin.

Impulsli elektr maydon (IEM) texnologiyasi asosan suv tarkibidagi mikroorganizmlarni (bakteriyalar, viruslar, zamburug‘lar va suv o‘tlarini) zararsizlantirish uchun qo‘llaniladi. Biroq uning samaradorligi suvning fizik-kimyoviy tarkibiga bog‘liq

O‘z navbatida oqova suvlar quyidagi turlarga bo‘linadi. 1. Maishiy oqova suvlar. Kanalizatsiya oqavalari va uy-ro‘zg‘or chiqindi suvlari.

2. Sanoat oqova suvlari. Oziq-ovqat sanoati, sut va go‘sht yetishtirishga ixtisoslashtirilgan fermalar, ichimliklar ishlab chiqarish korxonalari, farmatsevtika sanoati.

Bu korxonalardan chiqadigan oqova suvlarda mikroorganizmlar soni yuqori bo‘lgani uchun impulsli elektr maydon yaxshi natija beradi.

Oqova suvlarni impulsli elektr maydon bilan zararsizlantirishda ishlov berilayotgan suv tarkibiga qo‘yiladigan talablar.

Ishlov berilayotgan suvning eng samarali elektr o‘tkazuvchanlik diapazoni quyidagich bolishi kerak.

$$100 \leq \sigma \leq 5000\ \mu\text{S/cm} \tag{6}$$

bunda σ – suvning elektr o‘tkazuvchanligi.

Juda past o‘tkazuvchanlikdagi oqova suvlarga impulsli elektr maydon bilan ishlov berilganda, energiya samarasiz sarflanadi, juda yuqori o‘tkazuvchanlikda esa elektrodlar orasida katta tok oqib, energiya yo‘qotishlari ortadi.

Impulsli elektr maydon bilan ishlov berishda suvning mineralizatsiya tarkibiga qo‘yiladigan talablar.

Impulsli elektr maydon bilan ishlov berish samaradorligi yuqori bo‘lishi uchun ishlov berilayotgan suv tarkibi 3-jadvalda keltirilgan qiymatlarga mos bo‘lishi kerak.

Table 3. Required mineralization composition of water treated by pulsed electric field.

Jadval 3. Impulsli elektr maydon bilan ishlov berishda ishlov beriladigan suvlarning talab qilinadigan mineralizatsiya tarkibi.

Suv turi	**Mineralizatsiya**
Chuchuk suv	0.2–1 g/l
Yer osti suvi	0.5–3 g/l
Oqova suv	1–10 g/l

Impulsli elektr maydon bilan ishlov berishda suvning loyqaligiga qo‘yiladigan talab quyidagicha bo‘lishi kerak:

$$T < 50\ \text{NTU} \tag{7}$$

Loyqalik miqdori oshishi bilan qattiq zarrachalar mikroorganizmlarni “himoyalab” qolishi mumkin. NTU – Nephelometric Turbidity Unit (o‘zbekcha: Nefelometrik loyqalik birligi).

NTU suvning loyqaligini (suv tarkibidagi osilgan zarrachalar miqdorini) baholash uchun ishlatiladigan birlikdir. U nefelometr deb ataladigan asbob yordamida aniqlanadi. Asbob suvdan o‘tayotgan yorug‘likning 90° burchak ostida sochilishini o‘lchaydi.

Table 4. Interpretation of NTU values.
Jadval 4. NTU qiymatlarining talqini.

Loyqalik (NTU)	Suv holati
0–1 NTU	Juda tiniq suv
1–5 NTU	Ichimlik suvi uchun maqbul
5–25 NTU	Biroz loyqa
25–50 NTU	O‘rtacha loyqa
$>$ 50 NTU	Kuchli loyqa
$>$ 100 NTU	Juda loyqa

Impulsli elektr maydon (PEF – Pulsed Electric Fields) texnologiyasi yordamida oqova suvlarni zararsizlantirish (pasterizatsiya yoki sterilizatsiya) imkoniyati, ishlov berilayotgan suvning miqdoriga emas, balki tizimning unumdorligiga (suvning oqim tezligiga) va sarflanadigan energiyaga bog‘liq.

Ushbu texnologiya uzluksiz suv oqimi tizimlarida ishlagani uchun cheksiz miqdordagi suvni zararsizlantirishi mumkin, ammo asosiy cheklov – vaqt birligi ichida qayta ishlanadigan hajm (litr/soat) va qurilmaning quvvatidir.

Quyida ushbu jarayonning imkoniyatlari, hisob-kitoblari va cheklovlari batafsil keltirilgan.

1. Tizimning unumdorligi. Hozirgi kunda impulsli elektr maydon bilan ishlov berish qurilmalari laboratoriya sharoitidan tortib yirik sanoat korxonalarigacha qo‘llaniladi. Soatiga 1000 litrdan 10 000 litrgacha (10 m^3/h) va undan ortiq hajmdagi suvni zararsizlantirish imkoniga ega.
2. Energiya sarfi va hisob-kitob. Suvni impulsli elektr maydon bilan zararsizlantirish uchun sarflanadigan energiya miqdori juda muhim. Bakteriyalar (masalan, *E. coli* yoki *Salmonella*) va mikroorganizmlarning hujayra qobig‘ini parchalash (elektroporatsiya) uchun suvga ma’lum bir solishtirma energiya (Q_s) berilishi kerak.

Odatdagi energiya normasi: Suvni samarali zararsizlantirish uchun odatda 20 dan 100 J/mL (yoki kJ/L) gacha energiya talab qilinadi.

Impulsli elektr maydon bilan oqova suvni zararsizlantirish unumdorligi quyidagicha hisoblashimiz mumkin:

$$\text{Oqim tezligi } F = \frac{\text{Quvvat } P}{\text{Solishtirma energiya } Q_s} \tag{9}$$

3. Zararsizlantirish samaradorligiga ta’sir qiluvchi omillar

Impulsli elektr maydon orqali maksimal darajada ko‘p suvni tozalash uchun quyidagi parametrlarni to‘g‘ri sozlash kerak:

- Elektr maydon kuchlanganligi (E): Suv uchun odatda 15 kV/sm dan 40 kV/sm gacha kuchlanish impulslari beriladi. Kuchlanish qancha yuqori bo‘lsa, mikroblar shuncha tez o‘ladi, lekin energiya sarfi ortadi.
- Suvning elektr o‘tkazuvchanligi: Impulsli elektr maydon usuli toza va o‘tkazuvchanligi past (yoki o‘rtacha) bo‘lgan suvda yaxshi ishlaydi. Agar suvda tuzlar va minerallar haddan tashqari ko‘p bo‘lsa (elektr o‘tkazuvchanlik yuqori bo‘lsa), qisqa tutashuv (*sparking*) sodir bo‘lishi mumkin va energiya suvni zararsizlantirishga emas, uni isitishga sarflanib ketadi.
- Impuls davomiyligi: Odatda nanosoniya (ns) yoki mikrosoniya (μs) miqyosidagi impulslar qo‘llaniladi.

Impulsli elektr maydon texnologiyasining an’anaviy usullardan afzalligi: Impulsli elektr maydon bilan istalgan miqdordagi (minglab tonna) suvni zararsizlantirish mumkin, buning uchun faqat mos quvvatdagi PEF generatori va oqim kamerasi talab etiladi. Hozirgi sanoat texnologiyalari ushbu usul bilan soatiga o‘nlab tonna suvni uzluksiz ravishda, uning kimyoviy tarkibini o‘zgartirmasdan mikrobiologik tozalash imkonini beradi. Hisob-kitoblarimiz uchun o‘rtacha energiya sarfini 40 J/L

deb olamiz. Bu miqdor suv ichidagi *E. coli* va boshqa patogen bakteriyalarni to‘liq zararsizlantirish uchun yetarli.

Bir sutkada (24 soatda) 40 m^3 (yoki 40 000 litr) suvni impulsli elektr maydon yordamida zararsizlantirish uchun zarur bo‘lgan generator quvvatini aniq bosqichma-bosqich hisoblab chiqamiz. Buning uchun fizikaviy va muhandislik hisob-kitob qoidalaridan foydalanamiz.

1-bosqich: Soatlik oqim tezligini aniqlash

Bir sutkada 24 soat borligini hisobga olib, tizim 1 soatda qancha suvni qayta ishlashi kerakligini topamiz:

$$\text{Oqim tezligi } F = \frac{40\ \text{m}^3}{24\ \text{h}} = 1.7\ \text{m}^3/\text{h} \tag{10}$$

Agar shu miqdordagi suvni litrga o‘girsak:

$$1.7\ \text{m}^3/\text{h} = 1700\ \text{litr/h} \tag{11}$$

Uni sekundiga qayta ishlanadigan litr hajmiga o‘tkazamiz:

$$F = \frac{1700}{3600} = 0.47\ \text{litr/sekund} \tag{12}$$

2-bosqich: Solishtirma energiya me’yorini aniqlaymiz. Suvdagi bakteriyalar va mikroorganizmlarni to‘liq zararsizlantirish (elektroporatsiya effekti) uchun odatda har bir litr suvga 40 J energiya berilishi kerak deb olinadi ($Q_s = 40$ J/L).

3-bosqich: Generatorning sof quvvatini hisoblaymiz. Generator suv oqimiga yetkazib berishi kerak bo‘lgan sof quvvat (P_{sof}) quyidagi formula orqali topiladi:

$$P_{\text{sof}} = F \cdot Q_s \tag{13}$$

$$P_{\text{sof}} = 0.47\ \text{litr/sekund} \cdot 40\ \text{J/litr} = 18.8\ \text{J/sekund} = 18.8\ \text{Vt}$$

Demak, suvning o‘ziga to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘tishi kerak bo‘lgan elektr quvvati 18.8 Vt ni tashkil etadi.

4-bosqich: Generatorning foydali ish koeffitsiyenti (FIK) va yakuniy quvvatini aniqlaymiz. Amaliyotda har qanday impulsli generator quvvatni tarmoqdan olib, impulsga aylantirayotganda energiyaning bir qismi issiqlik sifatida yo‘qoladi. PEF generatorlarining foydali ish koeffitsiyenti odatda 80% dan 85% gacha bo‘ladi.

Yo‘qotishlarni hisobga olgan holda generatorning umumiy talab qilinadigan quvvatini (P_{umumiy}) hisoblaymiz (FIKni 80% deb olamiz):

$$P_{\text{umumiy}} = \frac{P_{\text{sof}}}{0.8} = \frac{18.8}{0.8} = 23.5\ \text{Vt} \tag{14}$$

Bir sutkada 40 m^3 suvni uzluksiz ravishda to‘liq zararsizlantirish uchun sizga nominal quvvati kamida 24–25 Vt bo‘lgan impulsli elektr maydon generatori kerak bo‘ladi.

Sanoatda tizimning barqaror ishlashi va yuklamalardan himoyalanishi uchun odatda quvvat zaxirasi bilan 30 Vt li generator tanlanadi.

Munozara

Mazkur tadqiqot natijalari impulsli elektr maydon (PEF) texnologiyasining oqova suvlarni zararsizlantirishda yuqori samaradorlikka ega ekanligini tasdiqlaydi. Olingan natijalar adabiyotlarda keltirilgan Toepfl va boshq., Heinz va boshq. hamda Barbosa-Cánovas va Zhang tomonidan olib borilgan tadqiqotlar bilan mos keladi. Ularning ishlarida ham yuqori kuchlanishli qisqa impulslar ta’sirida mikroorganizmlar hujayra membranasida elektroporatsiya hodisasi yuzaga kelishi va buning natijasida bakteriyalar inaktivatsiyalanishi qayd etilgan. Mazkur tadqiqotda E.coli bakteriyalarining 99,9%, Salmonella bakteriyalarining esa 99,9 foizgacha zararsizlantirilishi ushbu texnologiyaning amaliy jihatdan yuqori samaradorligini ko‘rsatadi.

Tadqiqot davomida ishlab chiqilgan energiya sarfi modeli impulsli elektr maydon texnologiyasining energiya tejamkorligini baholash imkonini berdi. Hisob-kitoblar natijasida bir sutkada 40 m³ oqova suvni uzluksiz zararsizlantirish uchun 25–30 Vt quvvatga ega generator yetarli ekanligi aniqlandi. Bu ko‘rsatkich issiqlik bilan sterilizatsiya, ozonlash yoki ultrabinafsha nurlanish kabi ayrim an’anaviy usullarga nisbatan energiya sarfining kamligini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, kimyoviy reagentlardan foydalanilmasligi ikkilamchi zaharli mahsulotlarning hosil bo‘lishining oldini olib, texnologiyaning ekologik xavfsizligini oshiradi.

Biroq texnologiyaning samaradorligi oqova suvning elektr o‘tkazuvchanligi, mineralizatsiya darajasi va loyqaligi kabi omillarga sezilarli darajada bog‘liq. Yuqori loyqalik mikroorganizmlarning qattiq zarrachalar bilan himoyalanishiga sabab bo‘lishi, elektr o‘tkazuvchanlikning me’yoridan yuqori bo‘lishi esa energiya yo‘qotishlarini oshirishi mumkin. Bundan tashqari, yuqori kuchlanishli impuls generatorlari va elektrod tizimlarini yaratish dastlabki investitsiya xarajatlarini oshiradi hamda elektrodlar korroziyasini kamaytirishga qaratilgan konstruktiv yechimlarni ishlab chiqishni talab qiladi.

Kelgusidagi tadqiqotlarda impulsli elektr maydon parametrlarini (kuchlanish, impuls davomiyligi va chastotasi) turli tarkibdagi oqova suvlar uchun optimallashtirish, PEF texnologiyasini ultrabinafsha nurlanish, ozonlash yoki membranali filtrlash usullari bilan kombinatsiyalash hamda sanoat miqyosidagi tajriba-sinovlarni amalga oshirish maqsadga muvofiqdir. Bu esa oqova suvlarni zararsizlantirishning energiya samaradorligini yanada oshirish, ekspluatatsion xarajatlarni kamaytirish va texnologiyani amaliyotga keng joriy etish imkoniyatlarini kengaytiradi.

Xulosa

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida oqova suvlarni impulsli elektr maydon yordamida zararsizlantirish texnologiyasi yuqori samaradorlikka ega ekanligi aniqlandi. Impulsli elektr maydon ta’sirida mikroorganizmlar hujayra membranasida elektroporatsiya hodisasi yuz berib, bakteriyalar, viruslar va boshqa patogen mikroorganizmlarning inaktivatsiyasi ta’minlanadi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, mazkur usul E.coli bakteriyalarini 99 foizgacha zararsizlantirish imkonini beradi. Texnologiyaning asosiy afzalliklari kimyoviy reagentlar talab qilmasligi, zararli ikkilamchi mahsulotlar hosil qilmasligi, energiya sarfining nisbatan kamligi hamda suvning fizik-kimyoviy xossalarini deyarli o‘zgartirmasligidan iborat. Energiya samaradorligi bo‘yicha o‘tkazilgan hisob-kitoblar bir sutkada 40 m³ oqova suvni zararsizlantirish uchun 25–30 Vt quvvatga ega impuls generatori yetarli ekanligini ko‘rsatdi. Shu sababli impulsli elektr maydon texnologiyasi sanoat, maishiy va qishloq xo‘jaligi oqova suvlarini ekologik xavfsiz hamda energiya-resurstejamkor usulda zararsizlantirish uchun istiqbolli yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Kelgusida texnologiyaning sanoat miqyosidagi tajriba-sinovlarini kengaytirish va maqbul ish rejimlarini aniqlash maqsadga muvofiqdir..

Mualliflarning hissalari

A.T.; metodologiya, A.T.; dasturiy ta’minot, A.T.; tasdiqlash, A.T. va A.A.; rasmiy tahlil, A.A.; tadqiqot, A.T.; resurslar, A.T.; ma’lumotlarni kuratorlik qilish, A.A.; original matnni yozish, A.A.; yozish va tahrirlash, A.T.; vizualizatsiya, A.T.; rahbarlik, A.T.; loyiha boshqaruvi, A.T.; moliya jalb qilish, A.T. va A.A.; Barcha mualliflar nashr qilingan qo‘lyozma versiyasi bilan tanish va u bilan rozi.

Authors’ contribution

A.T.; methodology, A.T.; software, A.T.; validation, A.T. and A.A.; formal analysis, A.A.; research, A.T.; resources, A.T.; data curation, A.A.; original writing, A.A.; writing and editing, A.T.; visualization, A.T.; leadership, A.T.; project management, A.T.; fundraising, A.T. and A.A.; All authors are familiar with and agree with the published version of the manuscript.

Moliyalashtirish

Ishga tashqi moliya ajratilmagan.

Funding source

This research received no external funding.

Etika tamoyillariga muvofiqlik

Qo‘llanilmaydi. Ushbu tadqiqot ishi muhandislik-texnik xarakterga ega bo‘lib, unda insonlar yoki hayvonlar ishtirok etmagan va ularga tegishli shaxsiy ma’lumotlardan foydalanilmagan.

Ethics approval

Not applicable. This research work is of an engineering and technical nature and does not involve humans or animals, nor does it use personal data relating to them.

Nashrga xabardor qilingan rozilik

Barcha tadqiqot ishtirokchilaridan xabardor qilingan rozilik olindi.

Ma’lumotlar mavjudligi to’g’risidagi bayonot

Ushbu tadqiqot natijalari to‘liq maqola ichidagi tahlillar va grafik chizmalarga asoslangan bo‘lib, uchinchi shaxslarga tegishli maxfiy yoki qo‘shimcha ommaviy arxivlangan ma’lumotlar to‘plamidan foydalanilmagan.

Data Availability Statement

The results of this study are based entirely on analyses and graphs within the article and do not use confidential or additional publicly archived data sets belonging to third parties.

Rahmatnomalar

Mualliflar ushbu tadqiqot ishini amalga oshirishda, nazariy va tahliliy tadqiqotlarini o‘tkazishda va ishlab chiqari korxonasidagi mavjud muammolarni o‘rganish va tahlil amaliy hamda yordam ko‘rsatgan “Elektrotexnologiya va elektr uskunalar ekspluatatsiyasi” kafedrasi hamda Qozog‘ston Respublikasidagi Korkit ota nomidagi Qizilo‘rda universiteti xodimlariga va laboratoriya jamoasiga o‘z minnatdorchiligini bildiradi..

Acknowledgments

The authors express their gratitude to the staff and laboratory team of the Department of “Electrotechnology and Operation of Electrical Equipment” and the Korkit-ota Kyzylorda University in the Republic of Kazakhstan for their practical assistance in carrying out this research work, conducting theoretical and analytical studies, and studying and analyzing existing problems at the production enterprise.).

Manfaatlar to’qnashuvi

Mualliflar o‘zlarining manfaatlar to‘qnashuvi yo‘qligini e‘lon qiladilar. Tadqiqotni loyihalashda, ma’lumotlarni yig‘ishda, tahlil qilishda, qo‘lyozmani yozishda yoki natijalarni nashr etish to‘g‘risida qaror qabul qilishda homiylarning yoki uchinchi shaxslarning hech qanday roli va aralashuvi bo‘lmagan.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest. There was no role or interference from sponsors or third parties in the design of the study, data collection, analysis, writing of the manuscript, or decision to publish the results.

Qisqartmalar

UB	Ultrabinafsha
IEM	Impulsli elektr maydon
PEF	Pulsed Electric Fields
DNK	Dezoksiribonuklein kislota
RNK	Ribonuklein kislota
NTU	Nephelometric Turbidity Unit

Adabiyot

[1] President of the Republic of Uzbekistan. On Additional Measures to Consistently Continue Reforms within the Framework of the Priority Areas of National Development until 2030 and Bring Them to a New Stage; Decree No. PF-21, 16 February 2026. Available online: https://lex.uz/docs/-8050769 (accessed on 30 June 2026).

[2] Djalilova, A.; Xamidov, A.; Abduqodirova, M. Sewerage and Wastewater Treatment; Voris-Nashriyot: Tashkent, Uzbekistan, 2012; 200 pp. (In Uzbek).

[3] Alshin, V.M.; Volkov, S.V.; Gilbukh, A.Y.; Grechukhin, A.I.; Kostyuchenko, S.V.; Kudryavtsev, N.N.; Yakimenko, A.V. Advantages and disadvantages of industrial methods of water disinfection. Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika 1996, 12, 2–7. (In Russian).
[4] Goncharuk, V.V.; Potapchenko, N.G. Current state of the problem of water disinfection. Khimiya i Tekhnologiya Vody 1998, 20, 190–217. (In Russian).
[5] Zagorsky, V.A.; Kozlov, M.N.; Danilovich, D.A. Methods for wastewater disinfection. Vodosnabzhenie i Sanitarnaya Tekhnika 1998, 2, 2–5. (In Russian).
[6] Kulsky, L.A. Theoretical Foundations and Technology of Water Conditioning, 3rd ed.; Naukova Dumka: Kyiv, USSR, 1980; 564 pp. (In Russian).
[7] Savluk, O.S. Research on the development of new methods for water disinfection. In Proceedings of the First All-Union Conference "Microbiology of Water Treatment", Kyiv, USSR, 1982; Naukova Dumka: Kyiv, USSR, 1982; pp. 46–48. (In Russian).
[8] Yakovlev, S.V.; Krasnoborodko, I.G.; Rogov, V.M. Technology of Electrochemical Water Treatment; Stroyizdat: Leningrad, USSR, 1987; 312 pp. (In Russian).
[9] Metcalf Eddy, Inc.; Tchobanoglous, G.; Stensel, H.D.; Tsuchihashi, R.; Burton, F.L. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, 5th ed.; McGraw-Hill Education: New York, NY, USA, 2014.
[10] Von Gunten, U. Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation. Water Res. 2003, 37, 1443–1467.
[11] Bolton, J.R.; Cotton, C.A. The Ultraviolet Disinfection Handbook; American Water Works Association: Denver, CO, USA, 2008; 149 pp.
[12] Judd, S. The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment, 2nd ed.; Elsevier: Oxford, UK, 2011.
[13] Toepfl, S.; Heinz, V.; Knorr, D. Applications of pulsed electric fields technology for the food industry. In Pulsed Electric Fields Technology for the Food Industry: Fundamentals and Applications; Raso, J., Heinz, V., Eds.; Springer: New York, NY, USA, 2006; pp. 197–221.
[14] Heinz, V.; Alvarez, I.; Angersbach, A.; Knorr, D. Preservation of liquid foods by high-intensity pulsed electric fields—Basic concepts for process design. Trends Food Sci. Technol. 2001, 12, 103–111.
[15] Barbosa-Cánovas, G.V.; Zhang, Q.H., Eds. Pulsed Electric Fields in Food Processing: Fundamental Aspects and Applications; Technomic Publishing: Lancaster, PA, USA, 2001.

Nashriyot javobgar emas/ eslatmasi: Barcha nashrlarda keltirilgan bayonotlar, fikrlar va ma'lumotlar faqat mualliflar va ishtirokchilarga tegishlidir, na Jurnal va na muharrirlar. Jurnal va muharrirlar, mazkur kontentda keltirilgan har qanday g'oyalar, usullar, ko'rsatmalar yoki mahsulotlar natijasida insonlar yoki mulkka yetkazilgan har qanday zarar uchun javobgar emas.

Disclaimer of liability/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications belong exclusively to individuals.The authors and participants, and the Journal and the editors. The journal and the editors are not responsible for any damage caused to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products mentioned in the content.