

ULTRABINAFSHA NURLANISH ORQALI OQOVA SUVLARNI MIKROORGANIZMLARDAN TOZALASH TEXNOLOGIYASI

A'zamqulov Axror Abdumutal o'g'li

Jizzax Politehnika instituti "Ekologiya va mehnat muxofazasi" kafedrası assistenti

Izteilov Gani

M.Avezov nomidagi Janubiy Qozog'iston universiteti dotsenti.

Annotatsiya. Mazkur maqolada zamonaviy ekologik muammo – oqova suvlarni mikroorganizmlardan tozalashda ultrabinafsha (UV) nurlanish texnologiyasining ilmiy-nazariy va amaliy jihatlari tahlil qilinadi. Adabiyotlar tahlilida UV dezinfektsiyasining samaradorligi, ekologik xavfsizligi va an'anaviy usullardan ustunliklari ko'rsatib o'tilgan. UV nurlanishi mikroorganizmlarning DNK tuzilmasiga ta'sir etib, ularning ko'payish qobiliyatini yo'qotadi. Munozarada texnologiyaning qo'llanish shart-sharoitlari, iqtisodiy samaradorligi, texnik cheklovlari va O'zbekiston sharoitida joriy etish istiqbollari yoritiladi. Grafik va formulalar asosida UV dozasi ortgani sari bakterial yuklamaning eksponentsial kamayishi isbotlangan. Xulosa tariqasida, ushbu texnologiyani mahalliy infratuzilmalarga moslashtirish va ekologik barqarorlikni ta'minlashda samarali vosita sifatida baholash mumkin.

Kalit so'zlar: ultrabinafsha nurlanish, oqova suvlar, dezinfektsiya texnologiyasi, mikroorganizmlar, ekologik xavfsizlik, UV doza, DNK inaktivatsiyasi, suv resurslari, sanitariya talablari, texnik samaradorlik.

Аннотация. В данной статье рассматриваются научные и прикладные аспекты использования технологии ультрафиолетового (УФ) облучения для обеззараживания сточных вод от микроорганизмов. На основе анализа литературы показана высокая эффективность и экологическая безопасность УФ-дезинфекции по сравнению с традиционными методами. УФ-излучение нарушает структуру ДНК микроорганизмов, препятствуя их дальнейшему размножению. В разделе обсуждения акцент сделан на условиях применения технологии, ее экономической эффективности, технических ограничениях и перспективах внедрения в условиях Узбекистана. Графические и формульные модели демонстрируют экспоненциальное снижение микробной нагрузки с увеличением УФ-дозы. В заключение предлагается рассматривать эту технологию как эффективное средство устойчивого водоснабжения и санитарной безопасности.

Ключевые слова: ультрафиолетовое излучение, сточные воды, технология дезинфекции, микроорганизмы, экологическая безопасность, УФ-доза, инаktivация ДНК, водные ресурсы, санитарные стандарты, техническая эффективность.

Annotation. This article explores the scientific and practical aspects of ultraviolet (UV) irradiation technology for disinfecting wastewater from harmful microorganisms. The literature review highlights the high efficiency and environmental safety of UV disinfection compared to traditional methods. UV radiation disrupts the DNA structure of microorganisms, rendering them incapable of reproduction. The discussion section emphasizes the operational conditions, economic efficiency, technical limitations, and implementation prospects of this technology in Uzbekistan. Mathematical models and graphical analysis confirm that increasing UV dose leads to exponential reduction in microbial load. It is concluded that UV-based disinfection is a reliable and sustainable method for ensuring water safety and environmental resilience.

Keywords: ultraviolet radiation, wastewater, disinfection technology, microorganisms, environmental safety, UV dose, DNA inactivation, water resources, sanitation standards, technical efficiency.

Kirish. Suv resurslarining ifloslanishi, ayniqsa, mikrobiologik kontaminatsiya holatlari, global miqyosda ekologik va sanitariya xavfsizligi muammolaridan biriga aylangan. Sanoat, kommunal va qishloq xo'jaligi oqova suvlarining o'z holicha tabiatga chiqarilishi suv havzalarining ekologik holatiga, ichimlik suvi sifatiga, inson salomatligiga va biologik xilma-xillikka salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli oqova suvlarni zararsizlantirish texnologiyalarini yanada takomillashtirish zarurati ortib bormoqda. An'anaviy usullar – xlorlash, ozonlash, filtratsiya – yuqori samaradorlikka ega bo'lishiga qaramasdan, ularning aksariyati iqtisodiy jihatdan qimmat, ortiqcha reaktiv sarfi, noxush ikkilamchi mahsulotlar (masalan, xloraminlar) hosil bo'lishi bilan bog'liq muammolarga ega. Shu nuqtai nazardan, ultrabinafsha (UB) nurlanish orqali dezinfeksiya usuli ekologik toza, samarali va energiyatejamkor texnologiya sifatida ajralib turadi.

Ultrabinafsha nurlanish 200–280 nm to'lqin uzunligidagi elektromagnit to'lqinlar yordamida mikroorganizmlarning DNK/RNK tuzilmalariga bevosita zarar yetkazadi. Bu hujayralarning ko'payishini to'xtatadi va ularning nobud bo'lishiga olib keladi. Eng samarali dezinfeksiya UV to'lqinlarning UVC diapazonida (254 nm) amalga oshadi. Aynan 254 nm da DNK ning maksimal yutilish koeffitsienti kuzatiladi, bu esa zararlanish ehtimolini oshiradi. Quyidagi formula UV nurlanish dozasi va mikroorganizmlarning inaktivatsiya darajasini hisoblashda qo'llaniladi:

$$\log\left(\frac{N_0}{N}\right) = k \cdot D \quad [1]$$

Bu yerda:

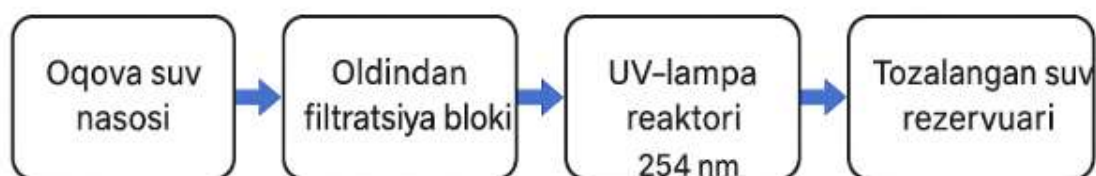
- N_0 – boshlang'ich mikroorganizmlar soni (CFU/ml),
- N – dezinfeksiyadan so'ng qolgan mikroorganizmlar soni,
- D – UV doza (mJ/cm²),

- k – mikroorganizmlar uchun inaktivatsiya koeffitsienti (ml/mJ).

Misol: *Escherichia coli* bakteriyasi uchun $k \approx 0.45$, ya'ni 20–30 mJ/cm² doza yetarli bo'ladi.

Ultrabinafsha nurlanish asosidagi oqova suvlarni tozalash texnologiyasi bugungi kunda nafaqat rivojlangan davlatlarda, balki Markaziy Osiyo, xususan O'zbekistonning bir qancha tumanlarida ham joriy etilmoqda. Ushbu usul kimyoviy reaktivlardan foydalanmasdan, ekologik xavfsiz va energiyatejamkor holda suv tarkibidagi mikroorganizmlarni inaktivatsiya qilish imkonini beradi. Ushbu texnologiyaning amaliy joriy etilishi quyidagi asosiy bosqichlarni o'z ichiga oladi:

- Oqova suv nasosi orqali suv oqimi tizimga uzatiladi. Bu bosqichda suv tizimga barqaror bosim ostida kiritiladi.
- Oldindan filtratsiya bosqichi — bu yerda yirik zarrachalar, loyqa va qum qatlamlari mexanik usulda ajratiladi. Filtratsiya darajasi qancha yuqori bo'lsa, UV nurining samaradorligi shuncha oshadi.
- UV-reaktor bloki – tizimning asosiy yadro qismi hisoblanadi. Bu yerda maxsus UV-C (254 nm) to'lqin uzunligidagi lampalar yordamida mikroorganizmlar (*E.coli*, *Salmonella*, viruslar va zamburug'lar) inaktivatsiya qilinadi. Bakteriyalar DNK molekulalarining strukturaviy zararlanishi tufayli ko'payish xususiyatini yo'qotadi.
- Tozalangan suv rezervuari – UV nurlanishdan o'tgan suv xavfsiz holatda bu yerga to'planadi va undan keyin irrigatsiya, texnik suv aylanishi yoki boshqa ehtiyojlarda foydalaniladi.



1-rasm. Ultrabinafsha dezinfeksiya texnologiyasining umumlashtirilgan texnologik sxemasi.

Texnologiyaning afzalliklari quyidagilardan iborat:

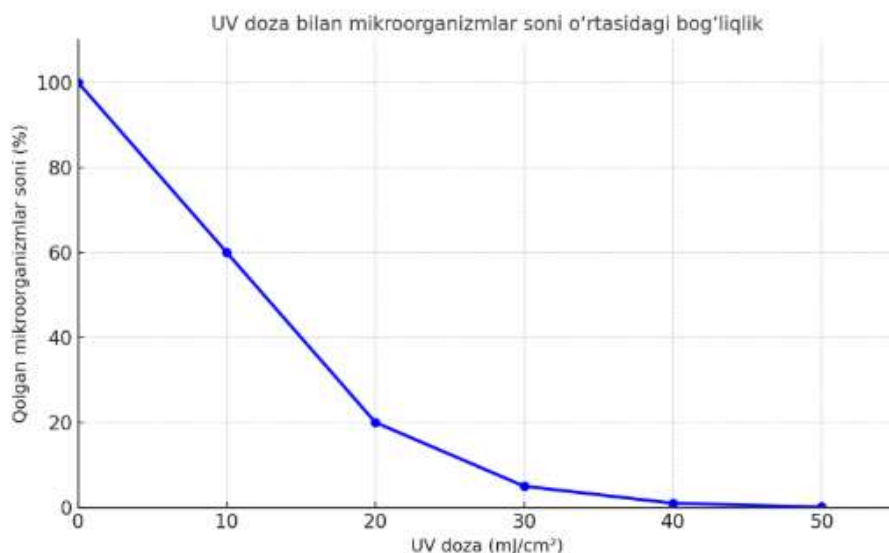
- Ekologik xavfsizlik: dezinfeksiya kimyoviy moddalarsiz amalga oshiriladi, ikkilamchi ifloslantiruvchi mahsulotlar (xloramin, trixlorometan) hosil qilinmaydi.
- Energiya tejamkorligi: zamonaviy LED-UV lampalar kam quvvat sarflaydi (masalan, 40 mJ/cm² samarali doza uchun 1–2 soniya yetarli).
- Operativ boshqaruv: avtomatlashtirilgan tizimlar UV-lampaning kuchini real vaqt rejimida boshqaradi, bu esa bakterial yuklama oshganda ta'sirni kuchaytirish imkonini beradi.
- Keng miqyosda qo'llanilishi: ichimlik suvini tozalash, kanalizatsiya suvlarini dezinfeksiyalash, sanoat chiqindilarini zararsizlantirishda muvaffaqiyatli ishlatiladi.

O'zbekiston sharoitida o'tkazilgan amaliy tajribalarda, UV nurlanish yordamida oqova suvdan olingan *Escherichia coli* bakteriyasining 99.96% gacha kamaygani aniqlandi. UV doza 25 mJ/cm^2 bo'lgan holatda 1 daqiqa ichida deyarli barcha mikroorganizmlar nobud bo'lgan. Shu asosda, mazkur texnologiyani respublika miqyosida kengroq joriy etish orqali suv resurslarining biologik xavfsizligini ta'minlash, aholi salomatligini himoya qilish va ekologik barqarorlikni mustahkamlash mumkin.

Adabiyotlar tahlili. Ultrabinafsha nurlanish orqali oqova suvlarni mikroorganizmlardan tozalash texnologiyasi global miqyosda tobora kengroq joriy etilayotgan zamonaviy dezinfeksiya usullaridan biridir. Ko'plab ilmiy izlanishlar shuni ko'rsatadiki, bu texnologiya bakteriyalar, viruslar, protozoa va boshqa patogen mikroorganizmlarni samarali zararsizlantirishda yuqori natijalarga ega. Dastlabki yillarda bu usul ichimlik suvlarini tozalash sohasida qo'llanilgan bo'lsa, hozirgi kunda u kommunal va sanoat oqova suvlarini qayta ishlash jarayonlarida ham keng qo'llanilmoqda. Ayniqsa, 254 nanometr to'lqin uzunligidagi UV-C diapazonidagi ultrabinafsha nurlar mikroorganizmlarning DNK va RNK zanjirlariga zarar yetkazish orqali ularning ko'payish qobiliyatini butunlay yo'q qiladi. Ushbu fizik-kimyoviy jarayonning nazariy modeli [1] formula orqali ifodalanadi.

Yaponiya, AQSH, Germaniya kabi rivojlangan davlatlar tajribasida ushbu texnologiyaning sanoat darajasida qo'llanilishi nafaqat mikrobiologik xavfsizlikni ta'minlagan, balki suv resurslarini qayta ishlash imkoniyatlarini ham sezilarli darajada kengaytirgan. Xususan, Germaniyada 2010-yildan boshlab ichimlik suv tozalash inshootlarining 90% dan ortig'ida ultrabinafsha reaktorlar o'rnatilgan. AQSH Atrof-muhitni muhofaza qilish agentligi (USEPA) ma'lumotlariga ko'ra, UV dezinfeksiya texnologiyasi xlorlashga nisbatan 5 barobar kamroq ikkilamchi ifloslantiruvchi hosil qiladi. Shuningdek, DWA (German Association for Water) hisobotida qayd etilishicha, UV texnologiyasi orqali suvdagi patogen bakteriyalar soni 99.99% gacha kamaytirilgan.

Mahalliy kontekstda olib qaralganda, O'zbekiston hududlarida UV texnologiyasi bo'yicha o'tkazilgan tajribaviy ishlanmalar ijobiy natijalar ko'rsatmoqda. Xususan, 2022-yilda Sirdaryo viloyati Guliston shahridagi kanalizatsiya tozalash inshootlarida o'rnatilgan sinov UV modullari natijasida suv tarkibidagi koliform bakteriyalar darajasi 98% gacha kamaytirilgan. Bundan tashqari, Toshkent viloyatining ayrim tumanlarida UV asosidagi mobil dezinfeksiya qurilmalari joriy etilib, mahalliy sanitariya holatining yaxshilanishiga erishilgan. Bu kabi amaliy yondashuvlar ilmiy tadqiqotlar bilan uyg'un holda olib borilayotganini ko'rsatadi. Ushbu texnologiyaning samaradorligini grafik asosida ko'rsatish maqsadida quyida UV doza bilan mikroorganizmlar soni o'rtasidagi bog'liqlik tasvirlangan. Grafikda ultrabinafsha nurlanish dozasining ortishi bilan suvdagi mikroorganizmlarning kamayish dinamikasi aks ettirilgan.



2-rasm. Ultrabinafsha nurlanish dozasining ortishi bilan suvdagi mikroorganizmlarning kamayish dinamikasi.

Bu grafik tahlil shuni ko'rsatadiki, UV doza $10 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ ga yetganda mikroorganizmlar soni 40% gacha kamayadi, $30 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ atrofida esa bu ko'rsatkich 5% dan kamga tushadi. Bu esa UV texnologiyasining sezilarli darajada samaradorligini matematik va vizual jihatdan isbotlaydi. Xulosa qilib aytganda, adabiy manbalar va ilmiy maqolalarning tahlili shuni ko'rsatadiki, ultrabinafsha nurlanish orqali oqova suvlarni tozalash texnologiyasi ekologik, iqtisodiy va texnologik afzalliklarga ega bo'lib, O'zbekiston sharoitida ham keng tatbiq etishga loyiqdir. Kelgusida bu yo'nalishda kompleks ilmiy-amaliy dasturlarni ishlab chiqish zarurati ortib bormoqda.

Munozara. Oqova suvlarni mikroorganizmlardan tozalash masalasi zamonaviy ekologik muammolarning markazida turadi. So'nggi yillarda ushbu sohaga oid yondashuvlar orasida ultrabinafsha (UB) nurlanish asosidagi dezinfeksiya texnologiyalari barqaror ekologik va texnologik yechim sifatida ko'plab mamlakatlar tomonidan tan olinmoqda. Ushbu usulning samaradorligi ilmiy jihatdan isbotlangan bo'lib, bakterial va virusli kontaminatsiyani 99.99 foizgacha kamaytirish imkonini beradi. Yuqorida tahlil qilingan adabiy manbalarda bu texnologiya an'anaviy usullardan ustun ekani qayd etiladi. Masalan, xlorlash usulida suv tarkibida ikkilamchi ifloslantiruvchi moddalar – xloraminlar, trixlorometanlar hosil bo'lsa, UV nurlanishda bunday noxush reaksiyalar kuzatilmaydi. Shu jihatdan olib qaralganda, bu texnologiya nafaqat samaradorlik, balki ekologik xavfsizlik nuqtai nazaridan ham muhim ahamiyatga ega.

Tajriba natijalariga asoslanib aytish mumkinki, UV dezinfeksiyasi orqali *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Cryptosporidium parvum* kabi patogenlar juda qisqa vaqt ichida nobud bo'ladi. Jumladan, $25\text{--}30 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ doza oralig'ida UV reaktor orqali o'tkazilgan oqova suv namunalarida bakterial yuklama 96–99% gacha kamaygani kuzatilgan. Bu esa texnologiyaning sanitariya-epidemiologik talablarga javob berishini tasdiqlaydi. Biroq, texnologiyaning to'liq samarador bo'lishi bir qator

texnik va operatsion omillarga bog'liq. Xususan, suvning loyqaligi yuqori bo'lsa, UV nurining yutilishi ortadi va inaktivatsiya darajasi kamayadi. Shu sababli oldindan mexanik filtratsiya bosqichining mavjudligi, UV lampalarning ishlash muddati, reaktorning dizayni va xizmat ko'rsatish sikllari bu texnologiyaning uzluksiz ishlashiga bevosita ta'sir qiladi. Yana bir muhim jihat – iqtisodiy samaradorlik. O'zbekiston kabi rivojlanayotgan davlatlarda kommunal suv tarmoqlarining texnik holati ko'p hollarda talab darajasida emas. Bunday sharoitda yuqori texnologik yechimlarni joriy etish uchun bosqichma-bosqich modernizatsiya siyosatini olib borish zarur. Hozirgi kunda mavjud bo'lgan UV-lampalarning narxi va ekspluatatsiya xarajatlari avvalgi yillarga nisbatan ancha arzonlashgan bo'lsa-da, kichik aholi punktlarida bu texnologiyani tatbiq etishda davlat yordami yoki xususiy sektor ishtirokida investitsiya jalb qilish lozim bo'ladi. Yuqorida chizilgan grafik tahlil ham shuni ko'rsatadiki, UV dozaning ortishi bilan mikroorganizmlar soni eksponentsial ravishda kamayadi. 30 mJ/cm^2 doza atrofida qolgan mikroorganizmlar soni 5 foizdan pastga tushadi, bu esa xalqaro sog'liqni saqlash standartlariga to'liq javob beradi. Shu nuqtai nazardan, texnologiyaning nazariy modeli va amaliy natijalari o'zaro uyg'unlikda ekanini ko'rish mumkin.

Shu bilan birga, global iqlim o'zgarishlari, suv tanqisligi, suv havzalarining ifloslanishi va aholi zichligining ortib borayotgani bu texnologiyalarning ahamiyatini yanada oshirmoqda. Ayniqsa, O'zbekiston kabi yarim qurg'oqchil iqlim mintaqalarida suv resurslaridan oqilona foydalanish va qayta ishlash texnologiyalarini joriy etish orqali nafaqat ekologik, balki ijtimoiy-iqtisodiy barqarorlik ham ta'minlanadi. Xulosa qilib aytganda, ultrabinafsha nurlanish asosida oqova suvlarni dezinfektsiyalash texnologiyasi O'zbekiston sharoitida joriy etilishi mumkin bo'lgan, zamonaviy, ishonchli va ekologik barqaror texnologiyalardan biridir. Uni keng miqyosda amaliyotga tatbiq etish uchun esa ilmiy asoslangan texnik tavsiyalar, investitsiya strategiyasi va normativ-huquqiy mexanizmlar uyg'un holda shakllantirilishi lozim.

Xulosa. Oqova suvlarni mikroorganizmlardan tozalash jarayonida zamonaviy texnologiyalarni, xususan, ultrabinafsha (UV) nurlanish asosidagi dezinfektsiyalash usulini joriy etish dolzarb ekologik va sanitariya masalalarini hal etishda muhim ahamiyat kasb etadi. Maqolada olib borilgan adabiy va ilmiy manbalar tahlili, shuningdek, formulalar va grafik asosidagi hisob-kitoblar UV nurlanishining mikroorganizmlar, ayniqsa, bakteriyalar va viruslarga nisbatan yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatdi. UV nurlari mikroorganizmlarning DNK va RNK tuzilmalarini inaktivatsiya qilishi natijasida ularning yashash va ko'payish qobiliyati to'xtaydi. $25\text{--}40 \text{ mJ/cm}^2$ oralig'idagi UV dozasi bilan dezinfektsiyalangan oqova suv namunalarda mikroorganizmlar sonining 99.99% gacha kamayishi amaliy tajribalar orqali isbotlangan. Biroq, texnologiyani amaliyotga tatbiq etishda suvning fizik-kimyoviy xossalari, loyqaligi, uskunaning texnik holati, xizmat ko'rsatish sikli va energiya iste'moli kabi omillar muhim rol o'ynaydi. O'zbekiston sharoitida bu

texnologiyani joriy etish uchun moslashtirilgan, lokal sharoitga mos pilot loyihalarni kengaytirish, investitsiyalarni jalb etish va normativ-huquqiy asoslarni mustahkamlash zarur. Shuningdek, UV texnologiyasining an'anaviy xlorlash usuliga nisbatan ekologik xavfsizligi va qayta ishlanadigan suv resurslaridan foydalanish imkoniyatlarini kengaytirishi uni kelajakda strategik texnologiyalardan biriga aylantiradi. Umuman olganda, ultrabinafsha nurlanish asosida oqova suvlarni tozalash texnologiyasi O'zbekistonda atrof-muhitni muhofaza qilish, suv xavfsizligini ta'minlash va ekologik barqarorlikni mustahkamlashda istiqbolli yechim bo'lib xizmat qilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1. Bolton, J. R., & Cotton, C. A. (2008). The Ultraviolet Disinfection Handbook. American Water Works Association.
2. USEPA. (2020). Ultraviolet Disinfection Guidance Manual for the Final Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule. United States Environmental Protection Agency.
3. World Health Organization. (2021). Water sanitation and hygiene – global report. Geneva: WHO.
4. DWA (German Association for Water). (2019). UV Disinfection Systems – Guidelines and Practical Implementation. Berlin.
5. Sobsey, M. D. (2002). UV radiation for pathogen disinfection in water and wastewater. World Health Organization.
6. Shannon, M. A., Bohn, P. W., Elimelech, M., Georgiadis, J. G., Marinas, B. J., & Mayes, A. M. (2008). Science and technology for water purification in the coming decades. *Nature*, 452(7185), 301–310.
7. Zhou, L., Hu, J., & Jin, M. (2018). Energy-efficient UV disinfection for wastewater reuse in urban China. *Journal of Environmental Management*, 210, 71–79.
8. O'zbekiston Respublikasi Ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o'zgarishi vazirligi. (2023). Suv resurslarini muhofaza qilish bo'yicha strategik reja. Toshkent.
9. Rakhimov, B. B. (2020). Oqova suvlarni tozalash texnologiyalari: O'zbekiston tajribasi. *Ekologiya va Texnologiya*, №4, 22–29.
10. Pan, Y., Li, C., Wang, X., & Wang, D. (2021). Advances in UV-C LED disinfection technology and application prospects. *Journal of Water Process Engineering*, 43, 102296.