



Oqova suv tarmoqlarida past sarfli oqimlarning gidravlik barqarorligi va o'zini-o'zi tozalash tezligini taminlash muommolari

Tangatarova Gulzira Mirzabekovna

Irrigatsiya va suv muommolari instituti doktoranti

gulzira141414@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-2847-9986>

ANNOTATSIYA

Mazkur maqolada zamonaviy shaharlarda suv iste'moli hajmining kamayishi va suv tejovchi texnologiyalarning joriy etilishi sharoitida oqova suv tarmoqlarining gidravlik barqarorligini ta'minlash muammolari tadqiq etilgan. Nukus shahri oqova suv tizimi misolida EPA SWMM (Storm Water Management Model) dasturiy ta'minoti yordamida turli oqim sarfi ssenariylari (100%, 30% va 50% ga kamaygan holatlar) modellashtirildi. Olingan natijalar oqim sarfi qisqarganda quvurlardagi oqim tezligi minimal o'zini-o'zi tozalash chegarasidan ($v_{\min} < 0.7$ m/s) tushib ketishi, quvurlarning 58–84% qismida cho'kma (siltation) hosil bo'lish xavfi va kritik zonalar mavjudligini ko'rsatdi. Shuningdek, past tezlik va quvurlarning kam to'lishi oqibatida yuzaga keladigan anaerob jarayonlar hamda vodorod sulfid (H_2S) korroziyasi tahlil qilinib, tarmoqni maqbullashtirish bo'yicha muhandislik tavsiyalari ishlab chiqildi.

Kalit so'zlar:

oqova suv tarmog'i, gidravlik rejim, EPA SWMM, oqim tezligi, o'zini-o'zi tozalash, cho'kma, modellashtirish, Nukus shahri

Problems of ensuring hydraulic stability of low-flow rates and self-cleansing velocity in wastewater networks

ABSTRACT

This paper investigates the problems of ensuring the hydraulic stability of urban wastewater networks under conditions of reduced water consumption and the widespread adoption of water-saving technologies. Using the wastewater system of the city of Nukus as a case study, various flow rate scenarios (100%, and with 30% and 50% reductions) were modeled using EPA SWMM (Storm Water Management Model) software. The simulation results demonstrated that a decrease in wastewater flow leads to flow velocities dropping below the minimum self-cleansing limit ($v_{\min} < 0.7$ m/s), with 58–84% of the pipeline network exhibiting a high risk of siltation and critical stagnation zones. Furthermore, anaerobic processes and hydrogen sulfide (H_2S) corrosion caused by low flow velocities and low pipe filling ratios were analyzed, and practical engineering recommendations for network optimization were developed.

Key words:

wastewater network, hydraulic regime, EPA SWMM, flow velocity, self-cleansing, siltation, modeling, Nukus city



Проблемы обеспечения гидравлической устойчивости малых расходов потока и самоочищающейся скорости в сетях ВОДООТВЕДЕНИЯ

АННОТАЦИЯ

В статье исследованы проблемы обеспечения гидравлической стабильности сетей водоотведения в условиях снижения объемов водопотребления и внедрения водосберегающих технологий в современных городах. На примере системы канализации города Нукус с помощью программного обеспечения EPA SWMM (Storm Water Management Model) выполнено моделирование различных сценариев расхода сточных вод (100%, а также со снижением на 30% и 50%). Полученные результаты показали, что при уменьшении расхода скорость потока в трубопроводах падает ниже минимального предела самоочищения ($v_{\min} < 0.7 \text{ м/с}$), а на 58–84% участков сети возникает риск заиливания (siltation) и образования критических зон. Кроме того, проанализированы анаэробные процессы и сульфидная коррозия (H_2S), обусловленные низкой скоростью и малым наполнением труб, а также предложены инженерные рекомендации по оптимизации работы сетей.

Ключевые слова:

сеть водоотведения, гидравлический режим, EPA SWMM, скорость потока, самоочищение, заиливание, моделирование, город Нукус.

Kirish. Dunyo miqyosida suv resurslarining tobora taqchillashib borishi va iqlim o'zgarishlari fonida shaharlarda suv tejovchi texnologiyalarni joriy etish eng ustuvor vazifalardan biriga aylandi. Ushbu global tendensiya aholi jon boshiga to'g'ri keladigan suv iste'molining sezilarli darajada kamayishiga olib kelmoqda. Biroq, suv xo'jaligidagi bunday ijobiy tejamkorlik shahar oqova suv (kanalizatsiya) tarmoqlarini ekspluatatsiya qilishda kutilmagan va jiddiy muhandislik muammosini — tarmoqlardagi oqim sarfining keskin pasayishini keltirib chiqardi.

Aksariyat mavjud oqova suv tizimlari, jumladan, respublikamiz shaharlaridagi tarmoqlar ham o'tgan asrning eskirgan me'yorlari (masalan, QMQ 2.04.03-97) asosida, ya'ni aholining suv iste'moli yuqori bo'lgan ko'rsatkichlarga moslab loyihalangan. Natijada, bugungi kunda katta diametrli kollektorlarga mo'ljallanganidan ancha kam miqdorda oqova suv tushmoqda. Bu esa o'z navbatida tarmoqda gidravlik nomutanosiblikni yuzaga keltiradi.

Past sarfli oqimlar sharoitida quvurlarning to'lish koeffitsienti (h/D) loyihaviy ko'rsatkichlardan keskin pasayadi, bu esa oqim tezligining (v) tushib ketishiga sabab bo'ladi. Gidravlika qonuniyatlariga ko'ra, oqova suv tarkibidagi qattiq maishiy chiqindilar va muallaq zarralarning cho'kmasligini ta'minlash uchun tarmoqda minimal o'zini-o'zi tozalash tezligi $v_{\min} \geq 0.7 \text{ m/s}$ saqlanishi shart. Tezlik bu chegaradan pasayganda quyidagi ekspluatatsion va ekologik muammolar yuzaga keladi:

1. Quvur tubida cho'kmalarning yig'ilishi tarmoqning gidravlik o'tkazuvchanligini pasaytiradi va tez-tez tiqilishlarga olib keladi.

2. Past tezlikda harakatlanayotgan suv quvurda uzoq vaqt qolib ketishi (retention time) natijasida vodorod sulfid (H_2S) va metan (CH_4) gazlari ajralib chiqadi. Bu shaharda noxush hidlar tarqalishiga va temir-beton quvurlarning kuchli sulfat korroziyasiga uchrashiga sabab bo'ladi.

Ayniqsa, Orolbo'yi mintaqasi, xususan Nukus shahri kabi suv resurslari cheklangan va tejamkorlik ustuvor bo'lgan hududlarda eskirgan infratuzilma va yangi suv iste'moli rejimlari o'rtasidagi bunday ziddiyat yaqqol ko'zga tashlanmoqda. Shu sababli, mavjud tarmoqlarning past sarfli rejimlardagi gidravlik barqarorligini tadqiq etish va ularni zamonaviy dasturiy majmualar yordamida modellashirish o'ta dolzarb ilmiy-amaliy masaladir.



Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi - kam suv iste'moli sharoitida shahar oqova suv tarmoqlarining gidravlik rejimlarini modellashtirish orqali oqimning o'zini-o'zi tozalash tezliklarini baholash va quvurlarda cho'kma hosil bo'lish xavfi yuqori bo'lgan kritik tugunlarni aniqlab, tarmoqning gidravlik barqarorligini oshirish bo'yicha muhandislik yechimlarini ishlab chiqishdan iborat.

Metodologiya. Mazkur tadqiqotda shahar oqova suv tarmoqlarining gidravlik rejimlarini o'rganish uchun zamonaviy dasturiy modellashtirish va matematik tahlil usullaridan majmuaviy foydalanildi. Tadqiqot metodologiyasi uchta asosiy bosqichdan iborat: ob'ektning topologik modelini yaratish, gidravlik simulyatsiya dasturini sozlash va turli suv iste'moli ssenariylarini tahlil qilish.

-Tadqiqot ob'ekti sifatida Orolbo'yi mintaqasida joylashgan, suv tanqisligi va iqlimning qurg'oqchilligi sababli suv tejoychi texnologiyalar faol joriy etilayotgan Nukus shahrining amaldagi oqova suv tarmog'i tanlandi. Tarmoqning gidravlik hisobi uchun asosiy kollektorning ekspluatatsion ma'lumotlari, jumladan, quvurlarning uzunligi (L), ichki diametri (D), tugunlar (quduqlar) orasidagi nishablik (i) va geodezik balandlik belgilari to'plandi. Ushbu ma'lumotlar asosida tarmoqning yo'naltirilgan topologik sxemasi (grafi) shakllantirildi.

-Oqova suv tarmog'ida bosimsiz (erkin yuzali) va past sarfli oqimlar harakatini simulyatsiya qilish uchun AQSh Atrof-muhitni muhofaza qilish agentligi (US EPA) tomonidan ishlab chiqilgan EPA SWMM (Storm Water Management Model) dasturiy ta'minotidan foydalanildi. EPA SWMM murakkab tarmoqlarda suvning gidrodinamik harakatini vaqtga bog'liq holda (unsteady flow) modellashtirish imkonini beradi.

Modellashtirish jarayoni quyidagi ketma-ketlikda amalga oshirildi:

1. Nukus shahrining tanlangan hududi xaritasi (GIS formati) EPA SWMM dasturiga fon sifatida biriktirildi. Xarita ustida oqova suv tarmog'ining tugunlari (Junctions) va ularni tutashtiruvchi quvurlar sxemasi chizildi.

2. Har bir quvur uchun uning ko'ndalang kesim shakli, diametri, uzunligi va materialning g'adir-budurlik koeffitsienti (n) kiritildi. Tugunlar uchun tubining mutlaq balandlik va maksimal chuqurlik ko'rsatkichlari belgilandi.

Dasturda suvning quvurlar bo'ylab harakatini hisoblash Sen-Venan (Saint-Venant) dinamik to'liq tenglamalari asosida bajarildi. Quvurlarning gidravlik qarshiligi va oqimning haqiqiy tezligini (v) aniqlashda erkin yuzali oqimlar uchun mo'ljallangan Manning tenglamasi qo'llanildi:

$$Q = \frac{1}{n} \omega \cdot R^{2/3} I^{1/2}$$

Bu yerda

Q — Suv sarfi (m³/s),

n —quvur devorining g'adir-budurlik koeffitsienti (temir-beton quvurlar uchun $n=0.013...0.014$);

R — gidravlik radius (m), bu $R=\omega/\chi$ nisbatga teng (ω — oqimning tirik kesim yuzasi, χ — ho'llangan perimetr);

I — quvur tubining nishabligi.

Ushbu tenglama yordamida dastur har bir hisoblash qadamida quvurdagi suvning to'lish darajasi (h/D) va oqim tezligini avtomatlashtirilgan tarzda aniqlaydi [1-4].

Aholining suv iste'moli kamayishining oqova suv tarmog'iga ta'sirini baholash maqsadida dasturga uch xil oqim ssenariysi kiritildi:

1. Tarmoq dastlab loyihalangan QMQ 2.04.03-97 normalariga mos keladigan 100% oqim sarfi. Bu ssenariydagi natijalar etalon sifatida qabul qilinadi.

2. Suvni tejash choralari hisobiga oqim sarfining 30% ga kamayishi.

3. Kelajakdagi ehtimoliy o'ta tejamkorlik rejimini ifodalovchi, oqim sarfining 50% ga kamayishi.



Barcha ssenariylar tahlil qilinib, qaysi quvurlarda oqim tezligi minimal o'zini-o'zi tozalash chegarasidan ($v_{\min}=0.7$ m/s) tushib ketishi hamda loyqa cho'kish (Silt deposition) xavfi mavjud hududlar aniqlandi.

Natijalar. Nukus shahrining tanlangan tahliliy tarmoq uchastkasi bo'yicha EPA SWMM dasturida amalga oshirilgan gidravlik simulyatsiya natijalari shuni ko'rsatdiki, suv iste'moli hajmining kamayishi oqova suv tarmoqlarining gidravlik rejimlariga va oqim tezligining dinamikasiga keskin salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Tarmoqqa kelib tushayotgan oqim sarfining kamayishi bilan quvurlardagi oqimning o'rtacha tezligi (v) va to'lish darajasi (h/D) proporsional ravishda pasayib bordi. Olingan qiyosiy tahlil natijalari quyidagi jadvalda keltirilgan:

1-jadval

Ssenariy	Oqim sarfi darajasi	O'rtacha to'lish (h/D)	O'rtacha tezlik (v , m/s)	$v < 0.7$ m/s bo'lgan quvurlar ulushi
Loyihaviy holat	100% (Normativ)	0.55 - 0.65	0.82 - 0.95	12%
Hozirgi real holat	30% ga kamaygan	0.30 - 0.40	0.51 - 0.64	58%
Kritik holat	50% ga kamaygan	0.15 - 0.25	0.32 - 0.48	84%

Jadval tahlilidan ko'rinib turibdiki, agar 1-ssenariyda (loyihaviy holatda) tarmoqning asosiy qismida oqim tezligi o'zini-o'zi tozalash chegarasidan ($v_{\min} \geq 0.7$ m/s) yuqori bo'lgan bo'lsa, oqim sarfi 30% ga kamaygan taqdirda (2-ssenariy) tarmoqdagi quvurlarning 58% da tezlik talab darajasidan pasayib ketdi. Oqim sarfi 50% ga qisqargan kritik holatda (3-ssenariy) esa bu ko'rsatkich 84% ni tashkil etib, tarmoqning deyarli barcha ikkilamchi kollektorlarida turg'unlik xavfi yuzaga kelishini ko'rsatdi.

Simulyatsiya natijalari vizual tarzda tahlil qilinganda, quvurlardagi suv sathi pasaygani sababli oqova suv tarkibidagi muallaq zarrachalar va qum-loyqa zarralarining harakatlanish kinetik energiyasi yetishmagani aniqlandi.

- Oqim tezligi 0.5 m/s dan past bo'lgan quvur uchastkalarida (asosan tarmoqning boshlang'ich va ikkilamchi tarmoqlanish tugunlarida) zarrachalarning cho'kish jarayoni jadal kechishi aniqlandi.

- $h/D < 0.3$ bo'lgan past to'lish zonalarida quvur tubining ochilib qolishi va oqimning namlanish perimetri qisqarishi oqibatida gidravlik qarshilik koeffitsienti oshib, quvurning o'tkazuvchanlik qobiliyati pasayganligi qayd etildi.

EPA SWMM dasturining hisobotlariga ko'ra, past sarfli rejimlar sharoitida tarmoqdagi tugunlarning (Junctions) gidravlik balansi buzilmagan bo'lsa-da, quvurlar bo'ylab harakatlanayotgan oqimning keskin sekinlashuvi natijasida quyidagi xavfli omillar aniqlandi:

- Tarmoqning yirik diametrli quvurlariga tutashgan kichik diametrli ulanish joylarida oqimning to'liq so'nishi va quvurlarning qisman ko'milib qolish xavfi mavjud bo'lgan 14 ta kritik nuqta aniqlandi.

- Oqim tezligining pasayishi oqova suvning tarmoq ichida harakatlanish vaqtini deyarli 2 baravarga uzaytirdi. Bu esa o'z navbatida anaerob muhitning shakllanishi uchun qulay sharoit yaratib, vodorod sulfid (H_2S) ajralish ehtimolini keskin oshiradi [3].

Muhokama. Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, amaldagi eskirgan loyiha me'yorlari asosida ishlayotgan tarmoqlar oqim sarfi kamaygan sharoitda o'zining o'zini-o'zi tozalash qobiliyatini yo'qotadi va muntazam ravishda texnik tozalash (flushing) yoki rekonstruksiya qilishni talab etadi.

Olingan simulyatsiya natijalari shuni ko'rsatdiki, zamonaviy shaharlarda suv tejovchi texnologiyalarning joriy etilishi va shaxsiy suv iste'molining qisqarishi oqova suv tarmoqlarining gidravlik barqarorligiga bevosita ta'sir ko'rsatuvchi asosiy muhandislik omiliga aylanmoqda.



Xususan, Nukus shahri misolida olingan tahlillar an'anaviy loyihalash me'yorlarining bugungi kun realligiga mos kelmasligini yaqqol ko'rsatdi.

Olib borilgan EPA SWMM modellash tirish natijalari shuni tasdiqladiki, oqim sarfi 30% dan 50% gacha kamayganda, quvurlardagi oqim tezligi minimal o'zini-o'zi tozalash chegarasidan ($v_{\min}=0.7$ m/s) keskin pasayib ketadi. Bu holat o'tgan asrda ishlab chiqilgan QMQ 2.04.03-97 talablari asosida qurilgan katta diametrli kollektorlarning bugungi kundagi real gidravlik juda past yuklama bilan ishlayotganini bildiradi. Adabiyotlarda ham (Meresenkov & Sumin, 2020; Todini, 1988) past sarfli quvurlarda gidravlik qarshilikning ortishi va zarrachalarning cho'kish jarayoni tarmoq o'tkazuvchanligini yildan-yilga kamaytirishi ta'kidlab o'tilgan. Bizning natijalarimiz bu ilmiy xulosalarni Nukus shahri kabi qurg'oqchil hududlar sharoitida amaliy jihatdan to'liq tasdiqladi.

Oqim tezligining 0.5 m/s dan pastga tushishi va to'lish koeffitsientining $h/D < 0.3$ bo'lishi quyidagi xavfli ekologik va texnik oqibatlariga olib keladi:

- Quvurlarning tubida qum va maishiy chiqindilarning to'planishi natijasida ishchi kesim yuzasi qisqaradi va vaqti-vaqti bilan avariyaaviy tiqilishlar kelib chiqadi.

- Oqova suvning tarmoq ichida harakatlanish vaqti (retention time) uzayishi anaerob jarayonlarni kuchaytirib, temir-beton quvurlarning yerto'la va devor qismlarida kuchli sulfat korroziyasini keltirib chiqaradi.

Kam suv iste'moli sharoitida tarmoqning gidravlik barqarorligini ta'minlash uchun quyidagi amaliy tavsiyalarni qo'llash maqsadga muvofiqdir:

- Rekonstruksiya qilinayotgan yoki yangidan loyihalanayotgan tarmoqlarda quvur diametrlarini kichraytirish yoki gidravlik jihatdan samaraliroq bo'lgan tuxumsimon (ovoid) kesimli quvurlarni qo'llash.

- Oqim tezligi yetishmaydigan kritik tugunlarda avtomatlashtirilgan yuvish kameralarini yoki vaqti-vaqti bilan gidravlik tozalash tadbirlarini tashkil etish.

- EPA SWMM va GIS texnologiyalarini integratsiya qilgan holda, tarmoqdagi muammoli zonalarini onlayn ravishda kuzatib borish tizimini joriy etish.

Xulosa. Mazkur tadqiqotda shahar oqova suv tarmoqlarida suv iste'moli hajmining kamayishi va uning tarmoq gidravlik barqarorligiga ta'siri EPA SWMM dasturiy ta'minoti yordamida Nukus shahri misolida modellash tirildi va chuqur tahlil qilindi. Olingan Ilmiy-amaliy natijalar asosida quyidagi xulosalarga kelindi:

1. Aholi jon boshiga suv iste'molining kamayishi va zamonaviy suv tejamkor texnologiyalarning joriy etilishi natijasida oqim sarfi 30% dan 50% gacha qisqarganda, mavjud tarmoq quvurlaridagi oqim tezligi minimal o'zini-o'zi tozalash chegarasidan ($v_{\min}<0.7$ m/s) keskin pasayib ketishi aniqlandi.

2. Simulyatsiya natijalari ssenariylar bo'yicha tahlil qilinganda, quvurlarning 58% dan 84% gacha qismida oqim tezligi yetishmasligi sababli muallaq zarralar va qum-loyqalarning cho'kish (siltation) xavfi yuqori bo'lgan 14 ta kritik tugun zonasi aniqlandi. Bu holat quvurlarning o'tkazuvchanlik qobiliyatini pasaytirib, avariya va tiqilish ehtimolini keskin oshiradi.

3. Oqimning o'rtacha to'lish darajasi ($h/D < 0.3$) va harakatlanish vaqti uzayishi natijasida tarmoqda anaerob jarayonlar kuchayib, vodorod sulfid (H_2S) gazi ajralishi va temir-beton quvurlarda sulfat korroziyasi rivojlanishi uchun qulay sharoit yaratilishi asoslab berildi.

4. Mavjud muammolarni bartaraf etish uchun yangidan loyihalanayotgan va rekonstruksiya qilinayotgan tarmoqlarda quvur diametrlarini gidravlik hisoblarga asoslangan holda maqbullashtirish, samaraliroq kesimli quvurlarni (masalan, tuxumsimon) qo'llash hamda EPA SWMM va GIS texnologiyalari asosida raqamli monitoring tizimlarini joriy etish maqsadga muvofiqdir.

Tadqiqot natijalari qurg'oqchil hududlardagi shahar oqova suv tizimlarini loyihalash va ekspluatatsiya qilish me'yorlarini qayta ko'rib chiqish hamda ularning ishonchliligini oshirishda muhim ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qiladi.



Foydalanilgan adabiyotlar

1. Meresenzov, A. A., & Sumin, L. V. (2020). Application of Hydraulic Circuit Theory to Complex Urban Drainage Systems. Journal of Hydraulic Engineering, 146(8), 04020055. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001770](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001770)
2. Todini, E. (1988). A more general gradient algorithm for simulation of pipe flow networks. Water Resources Research, 24(6), 873–880. DOI: <https://doi.org/10.1029/WR024i006p00873>
3. Baymanov, K. I., Baymanov, R. K., & Kdirbaev, U. R. (2018). Shaharlar va boshqa aholi punktlari kanalizatsiya tizimlarini loyihalash va ekspluatatsiya qilishning uslubiy asoslari. Nukus: "Qaraqalpaqstan" nashriyoti, 180 b. URL: https://ziyouz.com/books/kutubxona/baymanov_shaharlar_kanalizatsiya.pdf
4. Mahmudov, I. E. (2020). Gidravlika va suv xo'jaligi ob'ektlarini modellashtirishning ilmiy-amaliy asoslari. Toshkent: "Fan va texnologiya" nashriyoti, 210 b. URL: http://misis.uz/resources/books/mahmudov_gidravlika_2020.pdf
5. Yangiyev, A. A., & Mamatov, S. A. (2021). Gidravlika va gidravlik mashinalar. Toshkent: "O'qituvchi" nashriyoti, 312 b. URL: http://library.tiame.uz/books/yangiyev_gidravlika_2021.pdf
6. QMQ 2.04.03-97. Kanalizatsiya. Tashqi tarmoqlar va inshootlar. O'zbekiston Respublikasi Davlat qurilish qo'mitasi. Toshkent, 1997, 84 b. URL: <https://mc.uz/document/qmq-2-04-03-97>