UY-JOY KOMMUNAL TARMOQLARIDA RESURSLAR OQIMI VA LOGISTIKA TAQSIMOTINI OPTIMALLASHTIRISHNING IQTISODIY-MATEMATIK MODELLARI

Odamboyev Oybek Ravshanbek o‘g‘li
Urganch RANCH texnologiya universiteti
oybekodamboev@gmail.com

Annotatsiya. *Tezisda uy-joy kommunal tarmoqlarida (ichimlik suvi ta’minoti, kanalizatsiya, issiqlik ta’minoti va maishiy chiqindilarni olib chiqish) resurslar oqimi va logistika taqsimotini optimallashtirishning iqtisodiy-matematik modellari ko‘rib chiqiladi. Resurs oqimlari uchun tarmoq yo‘qotishlarini hisobga oluvchi minimal xarajatli oqim modeli, logistika taqsimoti uchun esa sig‘imli marshrutlash (CVRP) modeli keltirilgan. Modellarni raqamli monitoring tizimlari ma’lumotlari bilan bog‘lash yo‘nalishlari asoslangan.*

Kalit so‘zlar: *uy-joy kommunal xo‘jaligi, tarmoq oqimi, chiziqli dasturlash, marshrutlash masalasi, logistika, optimallashtirish, raqamlashtirish.*

Аннотация. *В тезисах рассматриваются экономико-математические модели оптимизации ресурсных потоков и логистического распределения в жилищно-коммунальных сетях (водоснабжение, водоотведение, теплоснабжение и вывоз бытовых отходов). Для ресурсных потоков предложена модель потока минимальной стоимости с учётом потерь в сети, для логистического распределения — модель маршрутизации транспорта с ограничением грузоподъёмности (CVRP). Обоснованы направления интеграции моделей с данными цифровых систем мониторинга.*

Ключевые слова: *жилищно-коммунальное хозяйство, сетевой поток, линейное программирование, задача маршрутизации, логистика, оптимизация, цифровизация.*

Abstract. *The paper examines economic and mathematical models for optimizing resource flows and logistics distribution in housing and communal networks (water supply, sewerage, heat supply and household waste collection). A minimum-cost network flow model that accounts for network losses is proposed for resource flows, and a capacitated vehicle routing problem (CVRP) model for logistics distribution. Directions for integrating the models with data from digital monitoring systems are substantiated.*

Keywords: *housing and communal services, network flow, linear programming, vehicle routing problem, logistics, optimization, digitalization.*

Kirish: Kommunal tarmoqlarda samaradorlikni oshirishning asosiy yo‘nalishlaridan biri resurslarni manbadan iste’molchigacha yetkazish jarayonini iqtisodiy-matematik usullar asosida rejalashtirishdir. O‘zbekistonda sohani isloh qilish bu vazifaning dolzarbligini oshirmoqda: 2023-yil 28-avgustdagi PF-151-son Farmon bilan qurilish va uy-joy kommunal xizmat ko‘rsatish sohasida davlat boshqaruvi qayta tashkil etilib, ichimlik suvi ta’minoti, kanalizatsiya va issiqlik ta’minoti tizimlarini tubdan isloh qilish hamda sohani raqamlashtirish vazifalari belgilandi [1]; 2025-yil 13-oktabrdagi PF-183-son Farmon esa suv sohasini raqamlashtirish jarayonini jadallashtirishga qaratildi [2]. 2026-yil iyul oyida e’lon qilingan hujjatga ko‘ra, 2028-yil oxirigacha 232,9 mingdan ortiq jamoat suv kolonkalari bosqichma-bosqich bekor qilinib, uylar hisoblagich bilan markazlashtirilgan tarmoqqa ulanishi, 2030-yilgacha esa ichimlik suvi bilan qamrovni 90 %, kanalizatsiya xizmatlari bilan qamrovni 30 % ga yetkazish rejalashtirilgan [9]. Bunday ko‘lamli o‘zgarishlar tarmoq bo‘yicha oqimlar, yo‘qotishlar va xarajatlarni tizimli optimallashtirish zaruratini kuchaytiradi.

Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqot uslubiy jihatdan iqtisodiy-matematik modellashtirish yondashuviga asoslanadi va quyidagi bosqichlarni o‘z ichiga oladi.

Birinchi bosqichda *muammoning tizimli tahlili* o‘tkazildi: uy-joy kommunal xo‘jaligi tarmoqlari (suv ta’minoti, kanalizatsiya, issiqlik ta’minoti, maishiy chiqindilarni olib chiqish) resurs oqimi va logistika taqsimoti nuqtai nazaridan umumlashtirildi, ularning umumiy tuzilmaviy xususiyatlari (tarmoq topologiyasi, yo‘qotishlar, cheklangan sig‘im) aniqlandi.

Ikkinchi bosqichda *adabiyotlar tahlili* amalga oshirildi: tarmoq oqimi va marshrutlash masalalari bo‘yicha xorijiy ilmiy nashrlar hamda O‘zbekiston Respublikasining sohaga oid me’yoriy-huquqiy hujjatlari o‘rganildi, mavjud yondashuvlarning kommunal xo‘jalik sharoitiga moslashtirilishi imkoniyatlari baholandi.

Uchinchi bosqichda *matematik modellashtirish* usuli qo‘llanildi: resurs oqimi uchun tarmoq yo‘qotishlarini hisobga oluvchi minimal xarajatli oqim modeli (chiziqli dasturlash asosida), logistika taqsimoti uchun esa sig‘imli marshrutlash masalasi (CVRP, aralash-butun sonli dasturlash asosida) tuzildi. Modellarni tuzishda tizim tahlili, grafik-analitik usul va operatsion tadqiqotlar (Operations Research) apparati qo‘llanildi.

To‘rtinchi bosqichda *modellarni amaliy qo‘llash yo‘nalishlari* asoslandi: modellarning kirish parametrlarini hisoblagichlar, SCADA, IoT va GIS tizimlaridan olinadigan ma’lumotlar bilan yangilab borish mexanizmi, shuningdek ikkilamchi (dual) baholardan tarif siyosatini asoslashda foydalanish imkoniyati ko‘rib chiqildi.

Tadqiqot amaliy (empirik) hisob-kitoblarga emas, balki nazariy-uslubiy modellashtirishga qaratilgan bo‘lib, keltirilgan modellar keyingi bosqichda hududiy statistik ma’lumotlar asosida sinovdan o‘tkazilishi mo‘ljallanadi.

1. Resurslar oqimini optimallashtirish modeli

Tarmoq yo‘naltirilgan $G = (N, A)$ graf sifatida ifodalanadi: N – tugunlar (manba, nasos stansiyasi, taqsimlash punkti, iste’molchilar guruhi), A – yoylar (quvur yoki magistral liniya). Suv tarmoqlarini chiziqli va aralash-butun sonli dasturlash (MILP) yordamida optimallashtirish xorijiy adabiyotda keng o‘rganilgan; zamonaviy MILP asosli tizimlar massa balansi va energiya saqlanishi cheklovlarini ifodalaydi [7]. Yo‘qotishlarni hisobga oluvchi minimal xarajatli oqim modeli quyidagi ko‘rinishda beriladi (model adabiyotdagi min-cost flow va yetkazib berilmagan hajm uchun jarima yondashuvlari asosida sintez qilingan, muallif tomonidan tuzilgan):

$$\min Z = \sum_{(i,j)\in A} c_{ij}x_{ij} + \sum_{i\in N} e_i q_i + \sum_{i\in N} \pi_i s_i \quad (1)$$

$$\sum_{(j,i)\in A} (1-\lambda_{ji})x_{ji} - \sum_{(i,j)\in A} x_{ij} + q_i + s_i = d_i, \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$0 \le x_{ij} \le u_{ij}, \quad 0 \le q_i \le Q_i, \quad s_i \ge 0 \quad (3)$$

bu yerda x_{ij} – yoy bo‘yicha oqim hajmi; c_{ij} – birlik oqimni uzatish xarajati; q_i va e_i – manbadan olingan resurs hajmi va uning birlik tannarxi; s_i va π_i – yetkazib berilmagan hajm va uning uchun jarima (ijtimoiy zarar) bahosi; λ_{ji} – yoydagi yo‘qotishlar ulushi; d_i – tugundagi talab; u_{ij} va Q_i – yoy o‘tkazish qobiliyati va manba quvvati. (2) shart har bir tugunda balansni ta’minlaydi. Agar quvur diametri yoki nasosni yoqish-o‘chirish kabi qarorlar kiritilsa, model MILP ga aylanadi.

2. Logistika taqsimoti modeli

Maishiy chiqindilarni yig‘ish, kommunal texnikani yo‘naltirish va materiallarni omborlardan obyektlarga yetkazish masalalari sig‘imli marshrutlash masalasi (CVRP) sifatida ifodalanadi. Marshrutlash masalasining klassik qo‘yilishi Dantzig va Ramser ishiga borib taqaladi [4]; kommunal chiqindilarni yig‘ish masalalari bo‘yicha keng qamrovli adabiyot sharhi mavjud [3]. $V = C \cup \{0\}$ to‘plamida C – yig‘ish nuqtalari, 0 – avtobaza yoki poligon deb olinsa, ikki indeksli model quyidagicha yoziladi:

$$\min \sum_{i\in V} \sum_{j\in V} c_{ij}x_{ij} \quad (4)$$

$$\sum_{j\in V,\, j\neq i} x_{ij} = 1, \quad \sum_{j\in V,\, j\neq i} x_{ji} = 1, \quad \forall i \in C \quad (5)$$

$$\sum_{j\in C} x_{0j} = K, \quad \sum_{j\in C} x_{j0} = K \quad (6)$$

$$\Sigma_{i\in S}\,\Sigma_{j\in S,\,j\neq i}\,x_{ij} \le |S| - \lceil q(S)/Q \rceil,\quad \forall S \subseteq C,\ |S| \ge 2 \qquad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \qquad (8)$$

(7) shart to‘plami barcha $S \subseteq C$ bo‘yicha eksponensial ko‘p sondagi chiziqli bo‘lmagan kesim shartlaridan iborat bo‘lgani sababli, u to‘g‘ridan-to‘g‘ri MILP solverga kiritilmaydi, balki *branch-and-cut* algoritmi orqali hisoblash jarayonida bosqichma-bosqich (kerak bo‘lgan kesimlar aniqlangan holda) generatsiya qilinadi.

bu yerda x_{ij} = 1, agar texnika i nuqtadan j nuqtaga o‘tsa; c_{ij} – masofa, yoqilg‘i yoki vaqt bo‘yicha xarajat; q_i – nuqtadagi chiqindi hajmi, $q(S)$ – S to‘plamdagi jami hajm; Q – texnika sig‘imi; K – texnikalar soni. (7) shart sig‘im va yopiq siklsiz marshrutlarni ta’minlaydi. Maqsad funksiyasiga transport vositalarining o‘zgarmas xarajatlari, yoqilg‘i sarfi, uglerod chiqindilari xarajati va poligonlar o‘rtasida qatnovlar nomutanosibligi uchun jarima kiritilgan kengaytirilgan variant ham qo‘llaniladi [6]. Katta o‘lchamli masalalar uchun evristik va metaevristik usullar ishlatiladi [5].

3. Modellarni raqamli monitoring bilan integratsiyalash

Ikki model ketma-ket qo‘llanishi mumkin: birinchi bosqichda (1)–(3) model tugunlar bo‘yicha resurs hajmlari va yo‘qotishlarni aniqlaydi, ikkinchi bosqichda (4)–(8) model shu hajmlarga mos texnika va materiallar logistikasini rejalashtiradi. Modelning kirish parametrlari (d_i, λ_{ji}, q_i) hisoblagichlar, SCADA, IoT va GIS ma’lumotlaridan yangilab borilishi mumkin; bu texnologiyalar suv sohasida raqamli transformatsiya doirasida joriy etilmoqda [8]. Shuningdek, (2) shartning ikkilamchi (dual) baholari tugunlar bo‘yicha resursning marjinal qiymatini ko‘rsatadi va tariflarni asoslashda tayanch bo‘la oladi. Bu 2027-yil 1-yanvardan tariflarni tasdiqlash vakolati Idoralararo tarif komissiyasiga o‘tishi sharoitida ayniqsa muhim [9].

Xulosa

O‘tkazilgan tadqiqot natijasida uy-joy kommunal tarmoqlarida resurslar oqimi va logistika taqsimotini optimallashtirishning ikki bosqichli iqtisodiy-matematik modeli ishlab chiqildi va uning nazariy asoslari yoritildi. Tadqiqot davomida quyidagi asosiy natijalarga erishildi.

Birinchidan, resurs oqimlari uchun tarmoq yo‘qotishlarini va yetkazib berilmagan hajm uchun jarimani hisobga oluvchi minimal xarajatli oqim modeli (1)–(3) tuzildi. Model tugunlar bo‘yicha balans shartlarini formal ravishda ifodalaydi va manba quvvati hamda tarmoq o‘tkazish qobiliyati cheklovlari doirasida umumiy xarajatni minimallashtirishga xizmat qiladi.

Ikkinchidan, kommunal texnika va materiallar logistikasi uchun sig‘imli marshrutlash (CVRP) modeli (4)–(8) shakllantirildi, uning sig‘im-kesim sharti

eksponensial tabiatga ega ekanligi va amalda branch-and-cut algoritmi orqali yechilishi asoslandi.

Uchinchidan, ikki modelni ketma-ket qo‘llash sxemasi taklif qilindi: resurs oqimi modeli natijalari (tugunlar bo‘yicha hajm va yo‘qotishlar) logistika modeli uchun kirish ma’lumoti sifatida xizmat qiladi, bu esa kommunal xo‘jalikni yagona iqtisodiy-matematik tizim sifatida ko‘rib chiqishga imkon beradi.

To‘rtinchidan, modellarning kirish parametrlarini hisoblagichlar, SCADA, IoT va GIS tizimlaridan olinadigan real vaqtdagi ma’lumotlar bilan yangilab borish, shuningdek balans shartining ikkilamchi (dual) baholaridan resursning marjinal qiymatini aniqlash va shu orqali tarif siyosatini iqtisodiy jihatdan asoslash yo‘nalishlari ko‘rsatib o‘tildi.

Ishlab chiqilgan modellar uy-joy kommunal xo‘jaligini boshqarish organlari uchun resurslarni taqsimlash va texnikani yo‘naltirish bo‘yicha qarorlarni ilmiy asoslashning amaliy vositasi bo‘lib xizmat qilishi mumkin. Shu bilan birga, tadqiqot nazariy-uslubiy xarakterga ega bo‘lib, modellarning amaliy samaradorligini tasdiqlash uchun keyingi bosqichda quyidagilar zarur: tarmoq topologiyasi, hisoblagich ko‘rsatkichlari va xarajat koeffitsientlari bo‘yicha hududiy real ma’lumotlarni to‘plash; modellarni mavjud tarmoq masshtabida sonli sinovdan o‘tkazish; hamda olingan natijalarni amaldagi kommunal xizmat ko‘rsatish amaliyoti bilan solishtirib, modellarning iqtisodiy samarasini miqdoriy baholash. Ushbu yo‘nalishlar mualliflarning keyingi tadqiqotlari doirasida davom ettirilishi rejalashtirilgan.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 28-avgustdagi PF-151-son Farmoni (ma’muriy islohotlar doirasida qurilish va uy-joy kommunal xizmat ko‘rsatish sohasida davlat boshqaruvini samarali tashkil etish to‘g‘risida).

2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025-yil 13-oktabrdagi PF-183-son Farmoni (suv sohasini raqamlashtirish jarayonini jadallashtirish va barqaror rivojlanishini ta’minlash chora-tadbirlari to‘g‘risida).

3. Beliën J., De Boeck L., Van Ackere J. Municipal Solid Waste Collection and Management Problems: A Literature Review // Transportation Science. – 2014. – Vol. 48, No. 1. – P. 78–102.

4. Dantzig G.B., Ramser J.H. The Truck Dispatching Problem // Management Science. – 1959. – Vol. 6, No. 1. – P. 80–91.

5. Liang Y.-C., Minanda V., Gunawan A. Waste collection routing problem: A mini-review of recent heuristic approaches and applications // Waste Management & Research. – 2022.

6. Qiao Q., Tao F., Wu H., Yu X., Zhang M. Optimization of a Capacitated Vehicle Routing Problem for Sustainable Municipal Solid Waste Collection Management Using the PSO-TS Algorithm // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2020. – Vol. 17, No. 6. – Art. 2163.

7. Thomas va boshq. A Mixed-Integer Linear Programming Framework for Optimization of Water Network Operations Problems // Water Resources Research. – 2024.

8. Digital transformation in water management: problems, opportunities and prospects // Zenodo. – 2026.

9. Uzbekistan aims to expand drinking water coverage to 90% by 2030 // Kun.uz. – 2026-yil 29-iyul.