DOI: 10.65322/j.srd.05192026.57

SHAHAR AVTOBUSLARINI YO‘NALISHLARGA SAMARALI TAQSIMLASH MODELLARI (NUKUS SHAHRI MISOLIDA)

Kunnazarova A.R., *tadqiqotchi,*
E-mail: rametullayevna.9696@gmail.com
Qoraqalpoq davlat universiteti

Annotatsiya. *Maqolada Nukus shahri jamoat transporti tarmog‘ida mavjud avtobus parkini yo‘nalishlar kesimida samarali taqsimlash masalasi ko‘rib chiqildi. Tadqiqotning maqsadi yo‘lovchilarning o‘rtacha kutish vaqtini kamaytirish, yo‘nalishlarda sig‘im yetishmasligini oldini olish va cheklangan harakat tarkibidan samarali foydalanish imkonini beruvchi sodda, amaliy va qayta kalibrlanadigan modelni ishlab chiqishdan iborat. Rasmiy ma’lumotlarga ko‘ra, 2024-yilda Nukus uchun brutto-shartnoma doirasida 15 ta yo‘nalish va 188 ta avtobus parametri belgilangan bo‘lsa, 2026-yil sentabr holatida tarmoq 20 ta avtobus yo‘nalishiga kengaygan. Hisobiy tajribada 20 ta shartli yo‘nalish va 200 avtobusli ssenariy qo‘llanib, teng taqsimlash, talabga mutanosib taqsimlash va butun sonli optimallashtirish yondashuvlari solishtirildi. Optimallashtirilgan yechimda yo‘lovchi oqimi va aylanish vaqti birgalikda hisobga olinishi natijasida talab bo‘yicha vaznlangan o‘rtacha kutish vaqti 3,99 minutdan 3,78 minutgacha, ya’ni 5,3 foizga qisqardi; pik davrdagi maksimal hisobiy yuklanish 113,9 foizdan 75,9 foizgacha pasaydi. Model GPS, validator va avtomatik yo‘lovchi sanash ma’lumotlari bilan to‘ldirilganda Nukus shahar transportini tezkor rejalashtirish vositasi sifatida qo‘llanishi mumkin.*

Аннотация. *В статье рассматривается задача эффективного распределения имеющегося автобусного парка по маршрутам сети общественного транспорта города Нукуса. Цель исследования – разработать простую, практически применимую модель с возможностью повторной калибровки, позволяющую сократить среднее время ожидания пассажиров, предотвратить дефицит провозной способности на маршрутах и обеспечить эффективное использование ограниченного подвижного состава. Согласно официальным данным, в 2024 году для Нукуса в рамках брутто-контракта были предусмотрены 15 маршрутов и 188 автобусов, тогда как по состоянию на сентябрь 2026 года сеть расширилась до 20 автобусных маршрутов. В вычислительном эксперименте использовался сценарий с 20 условными маршрутами и 200 автобусами; сравнивались равномерное распределение, распределение пропорционально спросу и целочисленная оптимизация. В оптимизированном решении совместный учёт пассажиропотока и времени оборотного рейса позволил сократить среднее время ожидания, взвешенное по спросу, с 3,99 до 3,78 минуты, то есть на 5,3%; максимальная расчётная загрузка в пиковый период снизилась со 113,9 до 75,9%. При дополнении данными GPS, валидаторов и автоматического подсчёта пассажиров модель может использоваться как инструмент оперативного планирования городского транспорта Нукуса.*

Abstract. *This article examines the efficient allocation of the existing bus fleet across routes in the public transport network of Nukus. The study aims to develop a simple, practical, and recalibratable model that reduces average passenger waiting time, prevents capacity shortages on routes, and ensures the efficient use of a limited fleet. According to official data, 15 routes and 188 buses were specified for Nukus under a gross-cost contract in 2024, while the network had expanded to 20 bus routes by September 2026. A computational experiment used a scenario comprising 20 hypothetical routes and 200 buses to compare equal allocation, demand-proportional allocation, and integer optimization approaches. By jointly accounting for passenger flows and round-trip times, the optimized solution reduced the demand-weighted average waiting time from 3.99 to 3.78 minutes, a decrease of 5.3%, while the maximum estimated peak-period*

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.57

load factor fell from 113.9% to 75.9%. When supplemented with GPS, fare validator, and automatic passenger counting data, the model can serve as a tool for operational planning of urban transport in Nukus.

Kalit so‘zlar: *shahar avtobusi, yo‘nalish, parkni taqsimlash, harakat intervali, yo‘lovchi oqimi, optimallashtirish, brutto-shartnoma, Nukus.*

Ключевые слова: *городской автобус, маршрут, распределение автобусного парка, интервал движения, пассажиропоток, оптимизация, брутто-контракт, Нукус.*

Keywords: *urban bus, route, fleet allocation, headway, passenger flow, optimization, gross-cost contract, Nukus.*

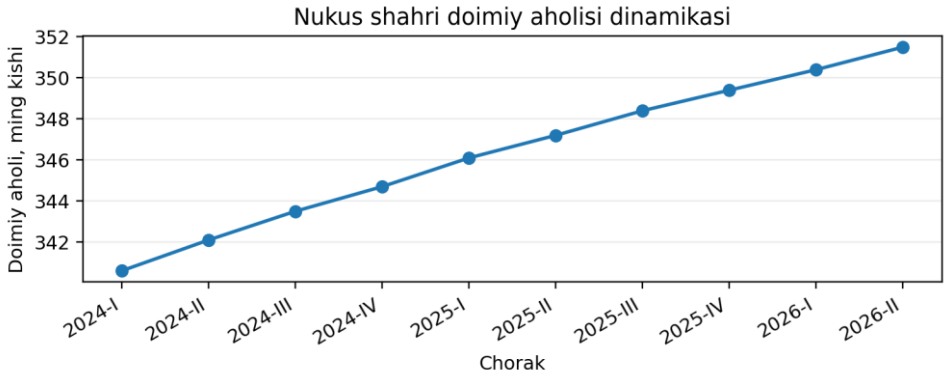
Kirish. Shahar jamoat transportida avtobuslar sonining ko‘payishi o‘z-o‘zidan xizmat sifatini kafolatlamaydi. Asosiy masala mavjud parkning qaysi yo‘nalishga, qaysi vaqt oralig‘ida va qancha miqdorda chiqarilishini to‘g‘ri belgilashdir. Talab yuqori bo‘lgan yo‘nalishga yetarli avtobus ajratilmasa, bekatlarda navbat, ortiqcha yuklanish va kutish vaqti ortadi; talab past yo‘nalishga ortiqcha avtobus berilsa, bo‘sh qatnovlar va ekspluatatsion xarajatlar ko‘payadi. Shu sababli parkni yo‘nalishlar o‘rtasida taqsimlash transport rejalashtirishning taktika darajasidagi muhim masalalaridan biridir [1–4].

Nukus shahri uchun bu masala ayniqsa dolzarb. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining PQ-59-son qarori jamoat transportini yangi boshqaruv va moliyalashtirish mexanizmlari asosida isloh qilishni belgiladi [1]. Keyingi PQ-139-son qarorda Nukus shahrida 2024-yil 1-iyuldan brutto-shartnoma tizimini joriy etishning dastlabki parametri sifatida 15 ta yo‘nalish va 188 ta avtobus ko‘rsatilgan, shu bilan birga yakuniy ijtimoiy so‘rovlar va bosh rejalar natijasiga ko‘ra bu ko‘rsatkichlarni aniqlashtirish mumkinligi qayd etilgan [2]. 2026-yil sentabrda Qoraqalpog‘iston Respublikasi Transport vazirligi yangi avtobuslar brutto-shartnoma asosidagi 20 ta yo‘nalishga bosqichma-bosqich joylashtirilayotganini ma’lum qildi. Demak, tarmoq qisqa muddat ichida kengaygani sababli parkni eski qat’iy nisbatlarda emas, talabga mos ravishda qayta taqsimlash zarurati kuchaymoqda.

Shahar transportiga bosimni oshiruvchi yana bir omil demografik o‘sishdir. Milliy statistika qo‘mitasining SIAT bazasida Nukus shahrining doimiy aholisi 2024-yil I chorakdagi 340,6 ming kishidan 2026-yil II chorakda 351,5 ming kishiga yetgani ko‘rsatilgan; bu davrda o‘sish qariyb 3,2 foizni tashkil qiladi [3]. 2026-yilda Nukusga 44 ta zamonaviy avtobusning olib kelinishi hamda 20 yo‘nalishli tarmoqni zamonaviy harakat tarkibi bilan ta’minlash bo‘yicha ishlar parkni boshqarish masalasining amaliy ahamiyatini yanada oshirdi.

Nukus transport tizimiga bag‘ishlangan avvalgi tadqiqotlarda uzoq harakat intervallari, tig‘iz vaqtda ortiqcha yuklanish hamda ommabop yo‘nalishlarda transport vositalari yetishmasligi asosiy muammolar qatorida qayd etilgan [4]. Xalqaro adabiyotlarda esa marshrut chastotasini belgilash, parkni taqsimlash va yo‘lovchi kutish vaqtini minimallashtirish uchun matematik dasturlash, genetik algoritmlar, ko‘p mezonli optimallashtirish va reinforcement learning yondashuvlari qo‘llanadi [5–9]. Mazkur ishning ilmiy-amaliy yangiligi shundaki, Nukusning hozirgi 20 yo‘nalishli tarmog‘i uchun tushunarli va operativ qo‘llash mumkin bo‘lgan butun sonli taqsimlash modeli taklif etilib, u sodda teng va talabga mutanosib taqsimlash usullari bilan qiyoslanadi.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.57



1-rasm. Nukus shahri doimiy aholisi dinamikasi (SIAT ma'lumotlari asosida [3])

Materiallar va usullar. Tadqiqotda ikki turdagi ma'lumot ishlatildi. Birinchi guruh – Nukus shahrining jamoat transporti rivojlanishiga oid rasmiy ochiq ma'lumotlar: brutto-shartnoma parametrlari, yo'nalishlar soni, yangi avtobuslar va aholi dinamikasi. Ikkinchi guruh – matematik modelni tekshirish uchun tuzilgan hisobiy ssenariy ma'lumotlari. Ochiq manbalarda 20 yo'nalishning har biri bo'yicha soatlik pik yo'lovchi oqimi, to'liq aylanish vaqti va real ishga chiqarish soni yagona ochiq jadvalda berilmagani sababli Y1–Y20 shartli yo'nalishlar uchun q_i=115–520 yo'lovchi/soat va T_i=62–100 minut diapazonidagi ma'lumotlar shakllantirildi. Shu bois quyidagi natijalar real ekspluatatsion hisobot emas, balki usulning ishlashini ko'rsatuvchi hisobiy tajriba sifatida talqin qilinadi.

Hisobiy park N=200 avtobus deb olindi. Bu qiymat Nukus transportini kengaytirish bo'yicha e'lon qilingan 200 ta yangi avtobusga doir istiqbolli rejalarga yaqin ssenariy sifatida tanlandi [6]. Har bir avtobusning nominal sig'imi C=70 yo'lovchi, ruxsat etilgan maqsadli yuklanish koeffitsiyenti δ=0,85 deb qabul qilindi. Qaror o'zgaruvchisi x_i – i-yo'nalishga ajratiladigan avtobuslar soni. Yo'nalishning aylanish vaqti T_i bo'lsa, o'rtacha harakat intervali h_i quyidagicha aniqlanadi:

$$h_i = T_i / x_i. \quad (1)$$

Yo'lovchilar bekatga tasodifiy keladi va qatnovlar nisbatan muntazam deb faraz qilinganda, kutiladigan o'rtacha kutish vaqti intervalning yarmiga yaqin bo'ladi [8]. Shunda i-yo'nalish bo'yicha bir yo'lovchining kutiladigan kutish vaqti:

$$w_i = h_i / 2 = T_i / (2x_i). \quad (2)$$

Bir soatda yo'nalishning hisobiy tashish quvvati aylanish vaqti va ajratilgan avtobuslar soniga bog'liq. Maqsadli yuklanish koeffitsiyentini hisobga olgan holda har bir yo'nalishga zarur eng kam avtobus soni quyidagi shartdan kelib chiqadi:

$$q_i \le \delta \cdot C \cdot (60 / T_i) \cdot x_i, \qquad x_i \in \mathbb{Z}_+. \quad (3)$$

Birinchi modelda park barcha 20 yo'nalishga teng taqsimlanadi: x_i=N/20. Ikkinchi modelda avtobuslar, minimal sig'im talabi saqlangan holda, yo'lovchi oqimiga mutanosib taqsimlanadi. Uchinchi modelda yo'lovchilarning bir soatdagi umumiy kutiladigan kutish vaqtini minimallashtirish maqsad qilindi:

$$\min Z = \Sigma(i=1\ldots m)\, q_i \cdot T_i / (2x_i), \quad \Sigma x_i = N, \quad x_i \ge x_i(\min). \quad (4)$$

(4) funksiyada har bir qo'shimcha avtobusning foydasi kamayib boradi. Shuning uchun avval (3) bo'yicha barcha yo'nalishlarga minimal zarur avtobuslar beriladi, keyin qolgan avtobuslar har bosqichda kutish vaqtini eng ko'p kamaytiradigan yo'nalishga ajratiladi. Qo'shimcha bitta avtobusning chegaraviy samarasi $\Delta_i=(q_iT_i/2)[1/x_i-1/(x_i+1)]$ bilan baholandi. Ushbu separabel va kamayuvchi chegaraviy samara tuzilmasida algoritm butun sonli yechimni tez topadi va dispetcherlik amaliyotida oddiy elektron jadval yoki dastur orqali qayta hisoblanishi mumkin.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.57

1-jadval

Nukus shahar avtobus tizimining tadqiqot uchun muhim ochiq ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	Davr	Qiymat
Brutto-shartnoma dastlabki parametri	2024	15 yo‘nalish; 188 avtobus
Amaldagi tashkil etilgan avtobus yo‘nalishlari	2026	20 ta yo‘nalish
Doimiy aholi	2026-II chorak	351,5 ming kishi
Yangi olib kelingan zamonaviy avtobuslar	2026, so‘nggi 2 oy	44 ta (32+12)

Natijalar. Hisobiy tajribada 200 avtobusni 20 yo‘nalishga teng taqsimlash boshlang‘ich variant sifatida qabul qilindi. Bunda har bir yo‘nalishga 10 tadan avtobus to‘g‘ri keladi. Soddaligi sababli bu usul tez qo‘llanadi, biroq yo‘nalishlarning yo‘lovchi oqimi va aylanish vaqtidagi farqlarni inkor etadi. Natijada talab yuqori va aylanishi uzun Y1 tipidagi yo‘nalishda hisobiy yuklanish 113,9 foizgacha chiqdi; ikki yo‘nalishda yuklanish maqsadli 85 foizlik chegaradan oshdi.



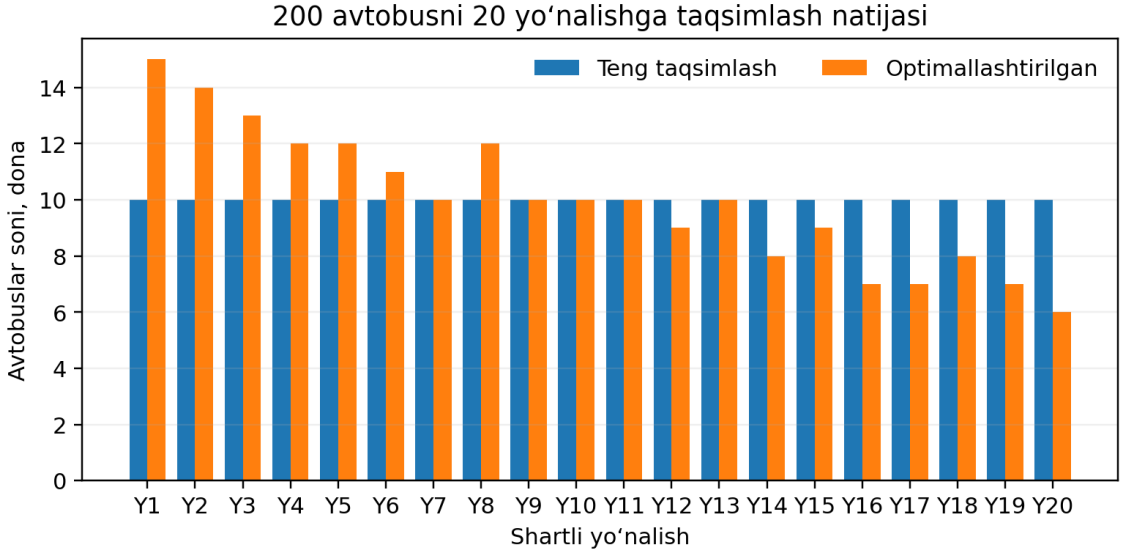
DOI: 10.65322/j.srd.05192026.57



2-rasm. Nukus shahriga brutto-shartnoma doirasida olib kelingan avtobuslar

Talabga mutanosib taqsimlash yuqori yo‘lovchi oqimiga ega yo‘nalishlarga ko‘proq avtobus berdi va sig‘im yetishmasligini bartaraf etdi. Biroq bu yondashuv aylanish vaqtini yetarlicha hisobga olmagani sababli ayrim uzun, lekin talab nisbatan past yo‘nalishlarda interval 17 minutgacha cho‘zildi. Demak, faqat q_i ko‘rsatkichi bilan taqsimlash transport vositasining bir soatda nechta aylanish qilishi mumkinligini to‘liq aks ettirmaydi.

Taklif etilgan optimallashtirish modelida esa q_i va T_i birgalikda hisobga olindi. Natijada Y1–Y4 kabi yuqori talabdagi yo‘nalishlarga 12–15 ta, o‘rta guruh yo‘nalishlariga asosan 8–12 ta, talab pastroq yo‘nalishlarga 6–9 ta avtobus ajratildi. Taqsimotning bunday shakli yuqori talabga javob beradi, shu bilan birga uzun aylanishli yo‘nalishlarda intervalning haddan tashqari oshib ketishini cheklaydi.



3-rasm. Teng va optimallashtirilgan taqsimlashda yo‘nalishlar bo‘yicha avtobuslar soni (hisobiy ssenariy)

2-jadval

200 avtobusli ssenariyda taqsimlash modellari natijalarini taqqoslash

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.57

Model	Vaznlangan interval, min	Vaznlangan kutish, min	Eng katta interval, min	Maks. yuklanish, %	>85% yo‘nalishlar
Teng taqsimlash	7,98	3,99	10,0	113,9	2
Talabga mutanosib	7,83	3,92	17,0	58,0	0
Taklif etilgan optimal	7,55	3,78	12,5	75,9	0

Asosiy samaradorlik ko‘rsatkichi bo‘yicha optimal model teng taqsimlashga nisbatan talab bo‘yicha vaznlangan o‘rtacha kutish vaqtini 3,99 minutdan 3,78 minutgacha kamaytirdi. Bir yo‘lovchi uchun farq 0,21 minut bo‘lib ko‘rinsa-da, pik soatda barcha yo‘lovchilar kesimida jami kutiladigan kutish vaqti 21 980 yo‘lovchi-minut/soatdan 20 811 yo‘lovchi-minut/soatgacha tushadi. Bu 1 169 yo‘lovchi-minut/soat yoki 5,3 foizlik tejashga teng. Eng muhim natija – sig‘im cheklovi: maksimal hisobiy yuklanish 113,9 foizdan 75,9 foizgacha kamayadi va 85 foizdan yuqori yuklanadigan yo‘nalish qolmaydi.

3-jadval

Park hajmi o‘zgarganda optimal modelning sezgirlik natijalari

Park, dona	Vaznlangan interval, min	Vaznlangan kutish, min	Maks. yuklanish, %
170	8,89	4,45	81,4
188	8,04	4,02	81,4
200	7,55	3,78	75,9
220	6,87	3,43	67,0

Sezgirlik tahlili park miqdori oshgani sari kutish vaqti kamayishini, biroq qo‘shimcha avtobuslarning chegaraviy samarasi asta-sekin pasayishini ko‘rsatdi. 188 avtobusli optimal ssenariyda o‘rtacha kutish 4,02 minut, 200 avtobusda 3,78 minut, 220 avtobusda 3,43 minutni tashkil etdi. Bu natija parkni shunchaki maksimal kengaytirishdan ko‘ra, xizmat darajasi va ekspluatatsion xarajat o‘rtasida maqsadli muvozanat tanlash zarurligini ko‘rsatadi.

Muhokama. Olingan natijalar avtobuslarni faqat yo‘lovchi soniga yoki faqat yo‘nalishlar soniga qarab taqsimlash yetarli emasligini ko‘rsatadi. Chastota va park miqdori yo‘lovchi talabi bilan bir qatorda aylanish vaqti, sig‘im, ruxsat etilgan yuklanish va xizmat intervali bilan bog‘liq [5, 7, 9]. Masalan, bir xil 250 yo‘lovchi/soat talabga ega ikki yo‘nalishdan aylanishi 100 minut bo‘lgan yo‘nalish 60 minutlik yo‘nalishga qaraganda ko‘proq avtobus talab qiladi. Shuning uchun Nukusda GPS asosida real aylanish vaqtini doimiy yangilab turish model sifatini sezilarli oshiradi.

Taklif etilgan modelning amaliy afzalligi uning soddaligidir. Murakkab metaevristik yoki reinforcement learning tizimlari katta tarmoqlar, noaniq talab va ko‘p turdagi avtobuslar uchun yuqori imkoniyat beradi [5–6], ammo 20 yo‘nalishli taktika masalasida separabel butun sonli modelni tez-tez qayta hisoblash oson. Dispetcher 15 yoki 30 minutlik davrlar bo‘yicha q_i va T_i ni yangilab, ertalabki pik, kunduzgi past talab va kechki pik uchun alohida x_i rejalarini olishi mumkin. Natijada bir xil park kun davomida turlicha kombinatsiyada ishlatiladi.

Nukus sharoitida joriy etish uchun ma’lumotlar infratuzilmasi bosqichma-bosqich shakllanmoqda. Brutto-shartnoma tizimi, GPS monitoringi va zamonaviy avtobuslar parkini kengaytirish transport ishini o‘lchanadigan ko‘rsatkichlar asosida boshqarish imkonini beradi [2]. Amaliy algoritm quyidagicha bo‘lishi mumkin: birinchidan, har bir qatnov bo‘yicha GPSdan real aylanish va bekat oralig‘i vaqti olinadi; ikkinchidan, validator yoki avtomatik sanagich orqali 15–30 minutlik yo‘lovchi oqimi baholanadi; uchinchidan, parkning 5–8 foizi texnik va tezkor zaxira

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.57

sifatida ajratiladi; to‘rtinchidan, qolgan avtobuslar (3)–(4) shartlari bo‘yicha qayta taqsimlanadi. Yirik talab o‘zgarishlarida qisqa aylanish (short-turning) yoki yo‘nalishlararo avtobus almashinuvi ham ko‘rib chiqilishi mumkin; bunday yondashuvlar xorijiy tadqiqotlarda kutish va operator xarajatlarini kamaytirish salohiyatini ko‘rsatgan [6].

Tadqiqotning cheklovi shundaki, ochiq rasmiy manbalarda Nukusning barcha 20 yo‘nalishi bo‘yicha pik yo‘lovchi oqimi va aylanish vaqti e’lon qilinmagan. Shu sababli tajriba qismi shartli ma’lumotlarga tayanadi va natijalardagi 5,3 foizlik kamayish real ekspluatatsiya samarasi sifatida emas, model ssenariysi sifatida qabul qilinishi kerak. Keyingi bosqichda real GPS va elektron to‘lov ma’lumotlari olinib, q_i vaqt bo‘yicha tasodifiy o‘zgaruvchi sifatida baholanishi, haydovchi smenasi, texnik nosozlik, elektr avtobuslar uchun quvvatlash cheklovi, yo‘l tirbandligi va minimal/maximal interval talablari modelga kiritilishi maqsadga muvofiq. Talab noaniqligi kuchli bo‘lganda taqsimotni robust optimallashtirish yoki reinforcement learning yordamida kengaytirish mumkin.

Xulosa. Nukus shahrida avtobus tarmog‘ining 2024-yildagi 15 yo‘nalishli dastlabki parametrdan 2026-yilda 20 yo‘nalishga kengayishi mavjud parkni muntazam qayta taqsimlashni talab etadi. Shahar aholisi sonining o‘sishi va yangi avtobuslarning bosqichma-bosqich ishga tushirilishi bu vazifaning dolzarbligini oshiradi.

Teng taqsimlash modeli boshqaruv jihatidan sodda bo‘lsa-da, yo‘nalishlar bo‘yicha talab va aylanish vaqti farqini hisobga olmaydi. Talabga mutanosib model sig‘im yetishmasligini kamaytiradi, ammo uzun aylanishli yo‘nalishlarda intervalni orttirishi mumkin. Taklif etilgan butun sonli model esa yo‘lovchi oqimi, aylanish vaqti, avtobus sig‘imi va park cheklovini bir vaqtda hisobga oladi.

200 avtobusli hisobiy ssenariyda optimallashtirilgan taqsimot teng taqsimlashga nisbatan talab bo‘yicha vaznlangan kutish vaqtini 5,3 foizga kamaytirdi hamda maksimal hisobiy yuklanishni 113,9 foizdan 75,9 foizgacha tushirdi. Shu bois model Nukus shahar jamoat transportining markazlashgan dispetcherlik tizimiga sodda qarorlarni qo‘llab-quvvatlash moduli sifatida integratsiya qilinishi mumkin. Real GPS, validator va avtomatik yo‘lovchi sanash ma’lumotlari bilan kalibrlangandan so‘ng modelning amaliy aniqligi va iqtisodiy samarasi alohida dala tajribasida baholanishi lozim.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 16-fevraldagi PQ-59-son “Jamoat transporti tizimini isloh qilish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi qarori.

2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2024-yil 25-martdagi PQ-139-son “Jamoat transportini moliyalashtirish tizimini takomillashtirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi qarori. LexUZ.

3. O‘zbekiston Respublikasi Milliy statistika qo‘mitasi.

4. Khotamov A.T., Jumabaev D.M., Abdikhalilov F.A. The main problems of the transport system of the city of Nukus and recommendations for their elimination. E3S Web of Conferences. 2023;403:07005. doi:10.1051/e3sconf/202340307005.

5. Yoo S., Lee J.B., Han H. A Reinforcement Learning approach for bus network design and frequency setting optimisation. Public Transport. 2023, 15: 503–534. doi:10.1007/s12469-022-00319-y.

6. Gkiotsalitis K., Wu Z., Cats O. A cost-minimization model for bus fleet allocation featuring the tactical generation of short-turning and interlining options. Transportation Research Part C. 2019; 98: 14–36. doi:10.1016/j.trc.2018.11.007.

7. Herbon A., Hadas Y. Determining optimal frequency and vehicle capacity for public transit routes: A generalized newsvendor model. Transportation Research Part B. 2015, 71: 85–99. doi:10.1016/j.trb.2014.10.007.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.57

8. Ahern Z., Paz A., Corry P. Approximate multi-objective optimization for integrated bus route design and service frequency setting. Transportation Research Part B. 2022, 155: 1–25. doi:10.1016/j.trb.2021.10.007.

9. Verbas I.O., Mahmassani H.S. Exploring trade-offs in frequency allocation in a transit network using bus route patterns: Methodology and application to large-scale urban systems. Transportation Research Part B. 2015, 81(2): 577–595. doi:10.1016/j.trb.2015.06.018.