ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 4

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 4

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

SHAHAR YO‘NALISHLI AVTOBUSLAR HARAKAT MUNTAZAMLIGINI BAHOLASH VA PROGNOZLASHNING TAKOMILLASHTIRILGAN MATEMATIK MODELI

M. D. Ikromov

Toshkent davlat transport universiteti

Annotatsiya. Mazkur maqolada shahar yo‘nalishli avtobuslar harakat muntazamligini baholash va qisqa muddatli prognozlash uchun takomillashtirilgan matematik model taklif etiladi. Tadqiqotning maqsadi reja intervali, amaldagi interval og‘ishi, reys vaqti og‘ishi, yo‘lovchi yuklanishi, yo‘nalish uzunligi va pik soat ulushi kabi omillarni yagona tizimda integratsiyalab, muntazamlik ko‘rsatkichini yanada aniqroq baholash hamda keyingi davr uchun prognoz qilishdan iborat. Maqolada kompozit muntazamlik indeksi shakllantirildi, so‘ngra u avtokorrelyatsion-regression tipdagi prognoz modeli bilan bog‘landi. Modelning ishlashini ko‘rsatish uchun 8 ta shartli shahar yo‘nalishi bo‘yicha 45 kunlik sinov paneli tuzildi. Sinov ma’lumotlari real amaliyotda uchraydigan diapazonlarga yaqin parametrlar asosida shakllantirildi va model uslubiyotini namoyish qilish uchun qo‘llandi. Hisob-kitoblar bazaviy model bilan taqqoslanganda takomillashtirilgan modelning MAE ko‘rsatkichi 34.2 % ga, RMSE ko‘rsatkichi esa 29.6 % ga kamayganini, izohlash qobiliyati esa R^2 bo‘yicha 0.149 punktga yaxshilanganini ko‘rsatdi. Tadqiqot natijasida yo‘nalish uzunligi va yuklanish darajasi muntazamlikning pasayishida muhim rol o‘ynashi, interval og‘ishining ortishi esa yo‘lovchi kutish vaqtini nolinear tarzda oshirishi asoslandi. Taklif etilgan yondashuv jamoat transporti operatorlari uchun marshrut darajasida kuzatish, tahlil, prognoz va operativ boshqaruv qarorlarini qabul qilishda qo‘llanishi mumkin.

Kalit so‘zlar: shahar avtobusi, harakat muntazamligi, interval og‘ishi, reys vaqti, prognozlash, regressiya modeli, yo‘lovchi kutish vaqti, real vaqt ma’lumotlari.

Аннотация. В данной статье предложена усовершенствованная математическая модель для оценки регулярности движения городских маршрутных автобусов и ее краткосрочного прогнозирования. Цель исследования состоит в интеграции в единую систему таких факторов, как плановый интервал движения, отклонение фактического интервала, отклонение времени рейса, пассажирская загрузка, длина маршрута и доля часов пик, для более точной оценки показателя регулярности и его прогнозирования на следующий период. В статье сформирован композитный индекс регулярности, который затем связан с прогностической моделью автокорреляционно-регрессионного типа. Для демонстрации работы модели была сформирована 45-дневная тестовая панель по 8 условным городским

ISSN 3030-3907

маршрутам. Тестовые данные были сгенерированы на основе параметров, близких к диапазонам, встречающимся в реальной практике, и использованы для демонстрации методики модели. Расчеты показали, что по сравнению с базовой моделью усовершенствованная модель обеспечивает снижение показателя MAE на 34,2 %, показателя RMSE на 29,6 %, а также улучшение объясняющей способности на 0,149 пункта по R^2. По результатам исследования обосновано, что длина маршрута и уровень загрузки играют важную роль в снижении регулярности, а рост отклонения интервала нелинейно увеличивает время ожидания пассажиров. Предложенный подход может быть использован операторами общественного транспорта для мониторинга, анализа, прогнозирования и принятия решений по оперативному управлению на уровне маршрутов.

Ключевые слова: городской автобус, регулярность движения, отклонение интервала, время рейса, прогнозирование, регрессионная модель, время ожидания пассажиров, данные реального времени.

Abstract. This article proposes an improved mathematical model for assessing the service regularity of urban bus routes and for short-term forecasting. The aim of the study is to integrate such factors as scheduled headway, actual headway deviation, trip time deviation, passenger load, route length, and peak-hour share into a unified framework in order to estimate the regularity indicator more accurately and forecast it for the next period. A composite regularity index is developed and then linked to an autoregressive-regression type forecasting model. To demonstrate the performance of the model, a 45-day test panel was constructed for 8 hypothetical urban bus routes. The test data were generated using parameters close to the ranges observed in real operational practice and were applied to illustrate the methodology of the model. The calculations showed that, compared with the baseline model, the improved model reduced MAE by 34.2% and RMSE by 29.6%, while its explanatory power improved by 0.149 points in terms of R^2. The results indicate that route length and passenger load play a significant role in the decline of service regularity, while an increase in headway deviation leads to a nonlinear growth in passenger waiting time. The proposed approach can be used by public transport operators for route-level monitoring, analysis, forecasting, and operational decision-making.

Keywords: urban bus, service regularity, headway deviation, trip time, forecasting, regression model, passenger waiting time, real-time data.

KIRISH.

Shahar jamoat transporti tizimining samaradorligi nafaqat harakat vositalari soni yoki marshrutlar tarmog‘i bilan, balki xizmatning muntazamligi bilan ham

ISSN 3030-3907

belgilanadi. Agar avtobuslar rejalashtirilgan intervalda harakatlanmasa, yo‘lovchining kutish vaqti ortadi, transport tanlashdagi ishonch kamayadi, bekatlarda gavjumlik yuzaga keladi va tizimning umumiy iqtisodiy samaradorligi pasayadi. Shu sababli muntazamlik ko‘rsatkichi zamonaviy transport menejmentida asosiy sifat mezonlaridan biri sifatida qaraladi.

O‘zbekistonda jamoat transporti tizimini modernizatsiya qilish davlat siyosatining muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. PF-60-son Farmonda shahar jamoat transporti tizimini takomillashtirish va uning infratuzilmasini rivojlantirish bilan bog‘liq vazifalar belgilangan [1]. PQ-2724-son qarorida esa avtobuslarda yo‘lovchilar tashish tizimini yaxshilash, parkni yangilash va xizmat ko‘rsatish sifatini oshirish bo‘yicha chora-tadbirlar nazarda tutilgan [2]. “O‘zbekiston - 2030” strategiyasida ham transport va logistika sohasida xizmatlarning samaradorligi va boshqaruv sifatini oshirish ustuvor vazifa sifatida qayd etilgan [3].

Ilmiy adabiyotlarda muntazamlik ko‘pincha rejalashtirilgan interval bilan amaldagi interval orasidagi tafovut, yo‘nalish bo‘yicha reys vaqtining barqarorligi, bekatdagi kutish vaqti hamda bus bunching hodisasi bilan bog‘liq holda o‘rganiladi. Biroq amaliy boshqaruvda faqat interval og‘ishini alohida o‘lchash ko‘pincha yetarli bo‘lmaydi. Chunki yo‘nalish uzunligi, yuklanish darajasi, pik soatdagi noaniqlik va oldingi kun natijasining inersiyasi ham muntazamlikka sezilarli ta’sir ko‘rsatadi.

Mazkur maqolaning ilmiy g‘oyasi shundan iboratki, muntazamlikni baholash va prognozlash masalalari bir-biridan alohida emas, balki yagona matematik platforma sifatida ko‘rilishi zarur. Avval muntazamlikni kompleks ko‘rsatkich yordamida baholash, so‘ng shu ko‘rsatkichning keyingi davrdagi qiymatini dinamik model orqali prognozlash boshqaruv qarorlarining aniqligini oshiradi.

Tadqiqotning maqsadi shahar yo‘nalishli avtobuslar harakat muntazamligini baholash va prognozlash uchun takomillashtirilgan matematik model ishlab chiqish, uning parametrlarini sharhlash hamda namunaviy sinov ma’lumotlari asosida bazaviy yondashuv bilan qiyosiy tahlilini berishdan iborat. Ushbu maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar bajarildi: xizmat muntazamligini ifodalovchi omillar tizimlashtirildi; kompozit ko‘rsatkich shakllantirildi; dinamik prognoz modeli qurildi; model parametrlari baholandi; natijalar grafik va jadval ko‘rinishida talqin qilindi.

Adabiyotlar sharhi va muammoning qo‘yilishi.

Xorijiy tadqiqotlarda avtobus xizmatining muntazamligi ikki nuqtayi nazardan tahlil qilinadi: yo‘lovchi nuqtayi nazari va operator nuqtayi nazari. Diab, Badami va El-Geneidy muntazamlikni yaxshilash strategiyalarini tizimlashtirar

ISSN 3030-3907

ekan, yo‘lovchi uchun asosiy natija kutish vaqti va ishonchlilik ekanini, operator uchun esa jadvalga rioya qilish va resurslardan foydalanish samaradorligi muhimligini ko‘rsatadi [4]. Ushbu yondashuv metodologik jihatdan muhim, chunki baholash mezoni transport korxonasining ichki ko‘rsatkichlari bilangina cheklanmasligi kerak.

Tirachini va hammualliflar muntazamlikni belgilovchi asosiy faktor sifatida interval variatsiyasini ko‘rsatib, metrikalar, omillar, oqibatlar va boshqaruv strategiyalarining keng sharhini beradi [5]. Ularning ta’kidlashicha, intervalning o‘zgaruvchanligi ortishi bekatdagi kutish vaqtini ko‘paytiradi, yo‘lovchining qoniqish darajasini pasaytiradi hamda operator uchun nazorat xarajatlarini oshiradi. Mazkur xulosa ushbu maqoladagi baholash modeliga interval og‘ishi ko‘rsatkichini asosiy determinant sifatida kiritish uchun nazariy asos bo‘lib xizmat qildi.

Chen, Yu, Li va boshqa tadqiqotchilar real vaqt ma’lumotlari asosida avtobus xizmatining marshrut, bekat va tarmoq darajasidagi ishonchliligini o‘rganib, rejalashtirilgan va amaldagi headwaylar orasidagi farqni markaziy ko‘rsatkich sifatida ishlatgan [6]-[9]. Ayniqsa Yu va hammualliflar smart-karta ma’lumotlari asosida stop-level bus bunching prognozini ishlab chiqib, boshqaruv choralarini oldindan belgilashning amaliy ahamiyatini ko‘rsatgan [7]. Li esa tarmoq darajasida real vaqt ma’lumotlari bilan marshrut bo‘yicha ishonchlilikni fazoviy-vaqtli kesimda baholash mumkinligini isbotlagan [9].

Ansari Esfeh va hammualliflar kutish vaqtini baholashda xizmat noaniqligini hisobga olmaslik metodik xatolikka olib kelishini ko‘rsatadi [10]. Ularning natijalari shuni anglatadiki, muntazamlik ko‘rsatkichi bevosita yo‘lovchi foydasiga bog‘liq ko‘rsatkichlarga ulanmasa, boshqaruv qarorlarining amaliy qiymati pasayadi. Shu sababli ushbu maqolada muntazamlik indeksi bilan kutish vaqti formulasi o‘rtasidagi bog‘lanish ham alohida ko‘rsatildi.

Yaqin yillardagi amaliy tadqiqotlarda muntazamlikning kamayishi nafaqat xizmat sifati, balki talab hajmiga ham salbiy ta’sir ko‘rsatishi aniqlangan. Deepa va hammualliflar headway variability oshganda yo‘lovchi oqimi hamda passenger-kilometr ko‘rsatkichlari pasayishini empirik ravishda asoslagan [11]. 2026-yilda chop etilgan BRT tizimidagi tadqiqotlar ham ITS asosidagi AVL va APC ma’lumotlari bilan travel time variability hamda reliability birgalikda baholanganda tizim diagnostikasi ancha aniqlashishini ko‘rsatmoqda [12].

Biroq mavjud ishlarning aksariyatida uchta cheklov kuzatiladi. Birinchidan, ko‘plab modellar interval og‘ishiga haddan tashqari tayanadi va yo‘nalish uzunligi kabi strukturaviy omillarni yetarli hisobga olmaydi. Ikkinchidan, ko‘plab prognoz modellarida oldingi davr natijasi, ya’ni tizimning inersion xulqi alohida komponent

ISSN 3030-3907

sifatida kiritilmaydi. Uchinchidan, baholash va prognozlash bloklari ko‘pincha ajralgan holda ko‘rib chiqiladi, bu esa operativ boshqaruv tavsiyasiga o‘tishni qiyinlashtiradi. Mazkur maqola aynan shu uch jihatni birlashtirishga qaratilgan.

TADQIQOT METODOLOGIYASI VA MA’LUMOTLAR BAZASINI SHAKLLANTIRISH.

Tadqiqot metodologiyasi tizimli yondashuv, transport jarayonlarini matematik modellashtirish, tavsifiy statistika, regressiya tahlili va ssenariyli tahlil usullarining kombinatsiyasiga asoslandi. Baholash qismi muntazamlikni kompozit ko‘rsatkich sifatida aniqlaydi; prognozlash qismi esa ushbu ko‘rsatkichning keyingi davr qiymatini avtokorrelyatsion va omilli tuzilma asosida baholaydi.

Modelni namoyish qilish uchun 8 ta shartli shahar yo‘nalishi bo‘yicha 45 kunlik panel tanlanma shakllantirildi. Har bir yo‘nalish uchun yo‘nalish uzunligi, rejalashtirilgan interval, interval og‘ishi, reys vaqti og‘ishi, yo‘lovchi yuklanishi va pik soat ulushi kabi ko‘rsatkichlar yaratildi. Parametrlar diapazoni real amaliyotda uchraydigan holatlarga yaqinlashtirildi: yo‘nalish uzunligi 12.4 km dan 27.0 km gacha, rejalashtirilgan interval 7 minutdan 12 minutgacha, yuklanish koeffitsiyenti esa 0.45-0.99 oralig‘ida o‘zgaruvchi qilib olindi.

Mazkur yondashuvning metodik ustunligi shundan iboratki, u ma’lumotlar bazasi to‘liq bo‘lmagan sharoitda ham modelning strukturaviy mantiqini sinab ko‘rish, omillar orasidagi nisbatlarni ko‘rish va operator uchun qaysi o‘zgaruvchilar eng sezgir ekanini aniqlash imkonini beradi. Amaliyotda ushbu model GPS/AVL, elektron to‘lov, dispetcher jurnali va yo‘nalish pasporti ma’lumotlari bilan to‘ldirilishi mumkin.

Tadqiqotda foydalanilgan asosiy o‘zgaruvchilar va ularning iqtisodiy-transport mazmuni 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Modelda foydalanilgan asosiy o‘zgaruvchilar

Belgilanish	Ko‘rsatkich	O‘lchov	Mazmuni
h_{ijt}^{r}	Rejalashtirilgan interval	minut	Jadval bo‘yicha ikki ketma-ket avtobus oralig‘i
h_{ijt}^{a}	Amaldagi interval	minut	GPS yoki kuzatuv natijasidagi haqiqiy interval
T_{ijt}^{r}, T_{ijt}^{a}	Reja va amaldagi reys vaqti	minut	Marshrut bo‘yicha aylanish yoki qatnov vaqti
Q_{ijt}	Yo‘lovchi oqimi	kishi	Muayyan davrdagi yoki reysdagi xizmat talabi
C_i	Sig‘im	kishi	Bir avtobusning foydali sig‘imi

ISSN 3030-3907

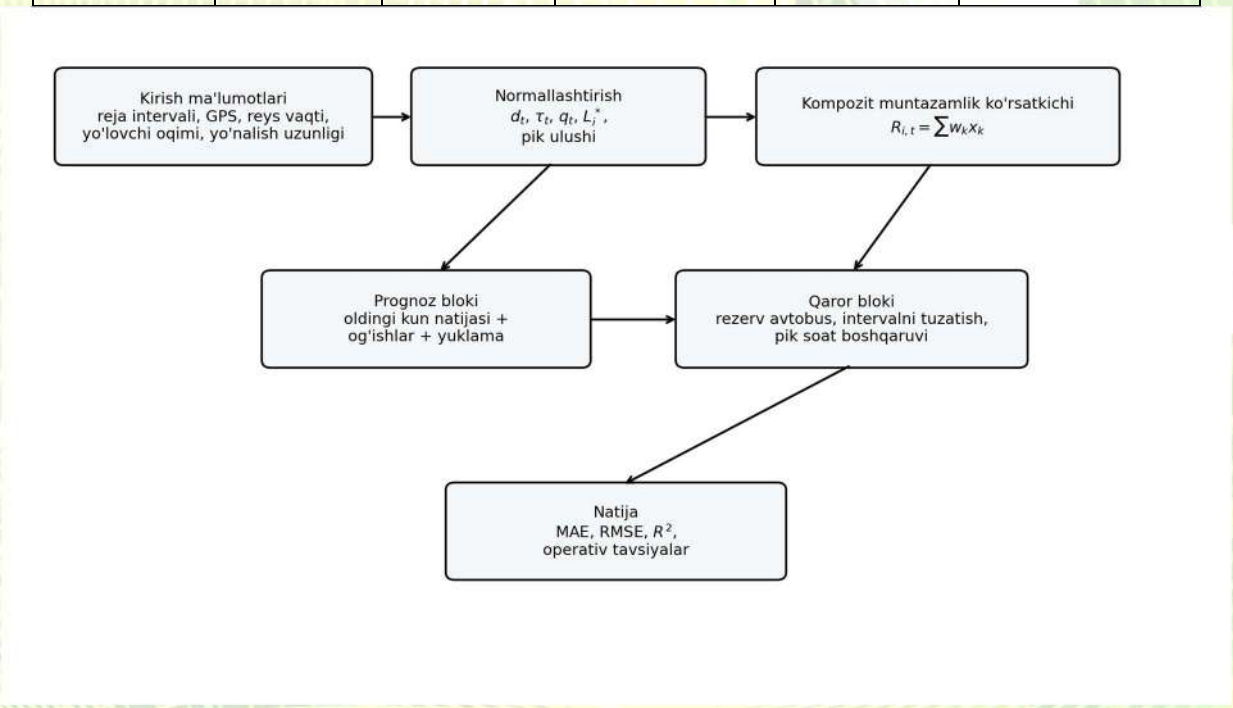
L_i	Yo‘nalish uzunligi	km	Marshrutning bir tomonga yoki aylanma uzunligi

Shartli panel tanlanma bo‘yicha umumlashtirilgan marshrut ko‘rsatkichlari 2-jadvalda berilgan. Jadvaldan ko‘rinadiki, yo‘nalish uzunligi ortgani sari o‘rtacha muntazamlik pasayishga moyil. Bu holat uzoq marshrutlarda tashqi ta’sirlar yig‘ilib borishi, bekatlar sonining ortishi va transport oqimidagi noaniqliklarning kumulyativ xarakter kasb etishi bilan izohlanadi.

2-jadval.

Shartli yo‘nalishlar bo‘yicha asosiy ko‘rsatkichlar

Yo‘nalish	Uzunlik, km	Reja intervali, min	O‘rtacha interval og‘ishi	O‘rtacha yuklanish	O‘rtacha muntazamlik
1	12.4	7	0.11	0.612	0.803
2	14.8	8	0.126	0.625	0.784
3	16.2	8	0.142	0.676	0.775
4	18.5	9	0.158	0.688	0.739
5	20.1	10	0.174	0.727	0.727
6	22.3	10	0.194	0.788	0.686
7	24.6	11	0.205	0.816	0.675
8	27.0	12	0.218	0.852	0.645



1-rasm. Muntazamlikni baholash va prognozlashning taklif etilgan konseptual sxemasi

ISSN 3030-3907

HARAKAT MUNTAZAMLIGINI BAHOLASHNING TAKOMILLASHTIRILGAN MATEMATIK MODELI

Taklif etilayotgan modelning birinchi bosqichi - xizmat muntazamligini bitta indikator yordamida ifodalashdir. Buning uchun avvalo interval og‘ishi, reys vaqti og‘ishi, yuklanish, yo‘nalish uzunligi va pik soat ulushi kabi omillar normallashtiriladi. Har bir reys bo‘yicha nisbiy interval og‘ishi quyidagicha aniqlanadi:

$$d_{ijt} = \frac{|h_{ijt}^a - h_{ijt}^r|}{h_{ijt}^r}$$

Agar $d_{ijt} = 0$ bo‘lsa, amaldagi interval reja bilan to‘liq mos tushadi; d_{ijt} kattalashgani sari xizmat muntazamligining buzilishi kuchayadi. Reys vaqtining nisbiy og‘ishi ham xuddi shunday tarzda aniqlanadi:

$$\tau_{ijt} = \frac{|T_{ijt}^a - T_{ijt}^r|}{T_{ijt}^r}$$

Yo‘lovchi yuklanish darajasi sig‘imga nisbatan quyidagicha ifodalanadi:

$$q_{ijt} = \frac{Q_{ijt}}{C_i}$$

Yo‘nalish uzunligi struktura omili bo‘lgani sababli u birlik intervallar orasiga keltiriladi:

$$L_i^* = \frac{L_i - L_{\min}}{L_{\max} - L_{\min}}$$

Pik soat ulushi P_t ma’lum kun uchun yuklangan davrlarning umumiy ulushini ifodalaydi. Endi har bir reys bo‘yicha muntazamlik balli quyidagi kompozit shaklda yoziladi:

$$r_{ijt} = 1 - \left(w_1 d_{ijt} + w_2 \tau_{ijt} + w_3 q_{ijt} + w_4 L_i^* + w_5 P_t\right)$$

Bu yerda $w_k \geq 0$ va $\sum_{k=1}^{5} w_k = 1$. Mazkur tadqiqotda amaliy sezgirlik va adabiyotlar sharhi asosida $w_1 = 0.35$, $w_2 = 0.25$, $w_3 = 0.18$, $w_4 = 0.12$, $w_5 = 0.10$ deb olindi. Bunday tanlov interval og‘ishi va reys vaqti og‘ishini dominant omillar, yuklanish va yo‘nalish uzunligini esa ularning struktura-ekspluatatsion modifikatorlari sifatida talqin qiladi.

Reys bo‘yicha baholashni kun darajasiga o‘tkazish uchun vaznli o‘rtacha ishlatiladi. Pik davrlardagi reyslar tizim sifati uchun muhimroq bo‘lgani sababli ularning vazni yuqoriroq tanlanadi:

ISSN 3030-3907

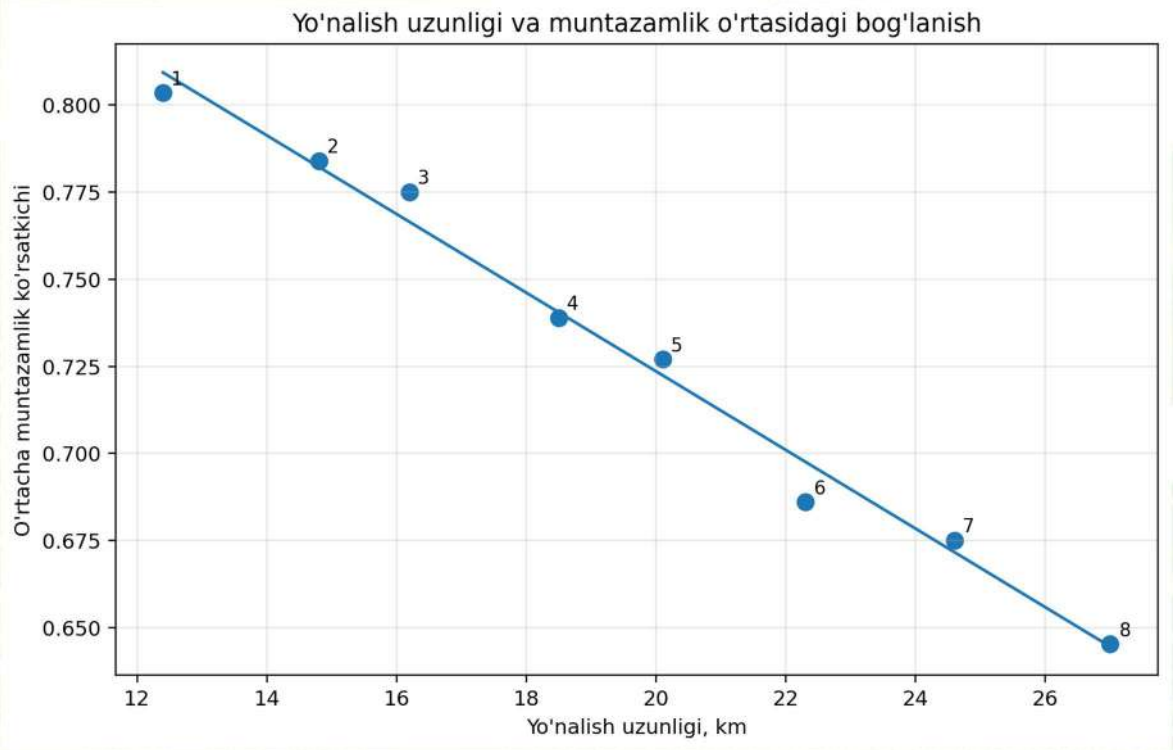
$$R_{i,t} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{it}} \omega_{jt} r_{ijt}}{\sum_{j=1}^{n_{it}} \omega_{jt}}$$

Natijada $R_{i,t} \in [0,1]$ oralig‘idagi kunlik muntazamlik indeksi olinadi. U 1 ga yaqinlashgan sari xizmat rejalashtirilgan grafikga yaqinlashadi. Agar operator normativ sifat darajasini R^{tar} bilan belgilasa, unda $R_{i,t} < R^{\text{tar}}$ bo‘lgan kunlar xavfli zona sifatida qaraladi.

Muntazamlik va yo‘lovchi foydasi o‘rtasidagi bog‘lanishni ko‘rsatish uchun klassik kutish vaqti ifodasi xizmat noaniqligi koeffitsiyenti bilan boyitiladi:

$$W_{i,t} = \frac{\bar{h}_{i,t}}{2}\left(1 + c_{v,i,t}^2\right), \qquad c_{v,i,t} = \frac{\sigma_{h,i,t}}{\bar{h}_{i,t}}$$

Bu formula interval variatsiyasi oshganda yo‘lovchi kutish vaqti oddiy $\bar{h}/2$ ga nisbatan yuqoriroq bo‘lishini ko‘rsatadi. Shu sababli muntazamlikni baholash faqat grafik intizomi emas, balki yo‘lovchi nuqtayi nazaridan ham iqtisodiy mazmunga ega.



2-rasm. Yo‘nalish uzunligi va o‘rtacha muntazamlik o‘rtasidagi bog‘lanish

PROGNOZLASH MODELI VA HISOB-KITOB NATIJALARI.

Baholash bosqichida olingan $R_{i,t}$ ko‘rsatkichidan keyingi kun yoki yaqin davr uchun prognoz olish boshqaruv nuqtayi nazaridan muhimdir. Buning uchun ushbu maqolada bazaviy va takomillashtirilgan ikki model solishtirildi. Bazaviy model faqat interval og‘ishi va reys vaqti og‘ishidan foydalanadi.

ISSN 3030-3907

Takomillashtirilgan model esa tizimning inersion xususiyati ($R_{i,t}$), yuklanish darajasi, yo‘nalish uzunligi va pik soat ulushini ham qo‘shadi.

Takomillashtirilgan linearlashtirilgan prognoz modeli quyidagi ko‘rinishda yozildi:

$$\hat{R}_{i,t+1} = \beta_0 + \beta_1 R_{i,t} - \beta_2 \bar{d}_{i,t} - \beta_3 \bar{\tau}_{i,t} - \beta_4 \bar{q}_{i,t} - \beta_5 L_i^* - \beta_6 P_t$$

Hisoblangan qiymat [0,1] intervaldan chiqib ketmasligi uchun quyidagi cheklash qo‘llanadi:

$$\hat{R}^*_{i,t+1} = \min\{1, \max\{0, \hat{R}_{i,t+1}\}\}$$

Koeffitsiyentlar eng kichik kvadratlar usuli bilan baholandi; ya’ni quyidagi funksional minimallashtirildi:

$$\min_{\beta} \sum_i \sum_t \left(R^{\text{obs}}_{i,t+1} - \hat{R}_{i,t+1}\right)^2$$

Natijada takomillashtirilgan modelning baholangan koeffitsiyentlari 3-jadvalda keltirildi.

3-jadval.

Takomillashtirilgan model koeffitsiyentlari

Parametr	Baholangan qiymat	Ta’sir yo‘nalishi	Talqin
β_0	0.7077	asosiy daraja	Boshqa omillar nolga teng bo‘lgandagi boshlang‘ich daraja
β_1	0.2625	+	Oldingi kun yaxshi bo‘lsa, keyingi kun ham odatda yaxshi bo‘ladi
β_2	-0.3044	-	Interval og‘ishi ortsa, muntazamlik pasayadi
β_3	-0.1795	-	Reys vaqti og‘ishi ortsa, muntazamlik pasayadi
β_4	-0.0601	-	Yuklanish ortishi xizmatni beqarorlashtiradi
β_5	-0.0504	-	Uzun yo‘nalishlarda risklar yig‘iladi
β_6	-0.0677	-	Pik ulushi ortishi boshqaruvni murakkablashtiradi

3-jadvaldan ko‘rinadiki, oldingi kun natijasi uchun musbat koeffitsiyent tizimning inersion xulqini aks ettiradi. Interval og‘ishi va reys vaqti og‘ishi koeffitsiyentlari manfiy bo‘lib, ularning iqtisodiy ma’nosi aniq: noaniqlik ortishi bilan xizmat sifati pasayadi. Yuklanish, yo‘nalish uzunligi va pik soat ulushining manfiy koeffitsiyentlari esa operatorga faqat jadval bilan emas, balki talab va marshrut strukturasi bilan ishlash zarurligini ko‘rsatadi.

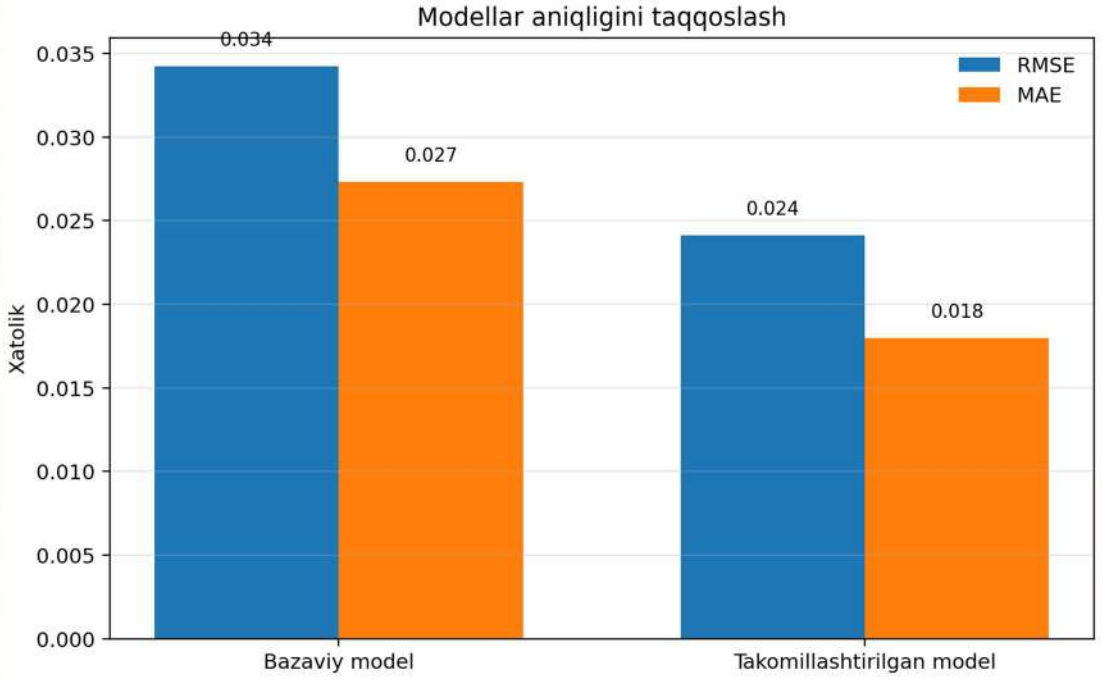
ISSN 3030-3907

Model sifati bazaviy yondashuv bilan 4-jadval asosida qiyoslandi. Bazaviy model faqat ikki omilli tuzilmaga ega bo‘lgani uchun izohlash qobiliyati pastroq va noaniq kunlarda xatoligi yuqoriroq bo‘ldi.

4-jadval

Model aniqligi ko‘rsatkichlari taqqoslovi

Model	MAE	RMSE	R^2	Izoh
Bazaviy model	0.0273	0.0342	0.7038	Faqat interval va reys og‘ishlari hisobga olingan
Takomillashtirilgan model	0.0180	0.0241	0.8530	Inersiya, yuklanish, uzunlik va pik ulushi qo‘shilgan



3-rasm. Bazaviy va takomillashtirilgan modellarning xatolik ko‘rsatkichlari

Natijalarga ko‘ra, takomillashtirilgan modelda MAE 0.0273 dan 0.0180 ga tushdi, ya’ni xatolik 34.2 % ga kamaydi. RMSE esa 0.0342 dan 0.0241 ga tushib, 29.6 % li yaxshilanish berdi. Izohlash darajasi R^2 bo‘yicha 0.7038 dan 0.8530 gacha oshdi. Demak, qo‘shimcha omillarni kiritish faqat nazariy emas, amaliy jihatdan ham maqsadga muvofiq.

6-yo‘nalishning test davridagi 7 kunlik qiyosiy prognozi 5-jadval va 4-rasmda aks ettirilgan. Ushbu marshrut ataylab tanlandi, chunki unda uzunlik va yuklanish o‘rtacha-yuqori zonada bo‘lib, bazaviy model xatolari yaqqolroq namoyon bo‘ladi.

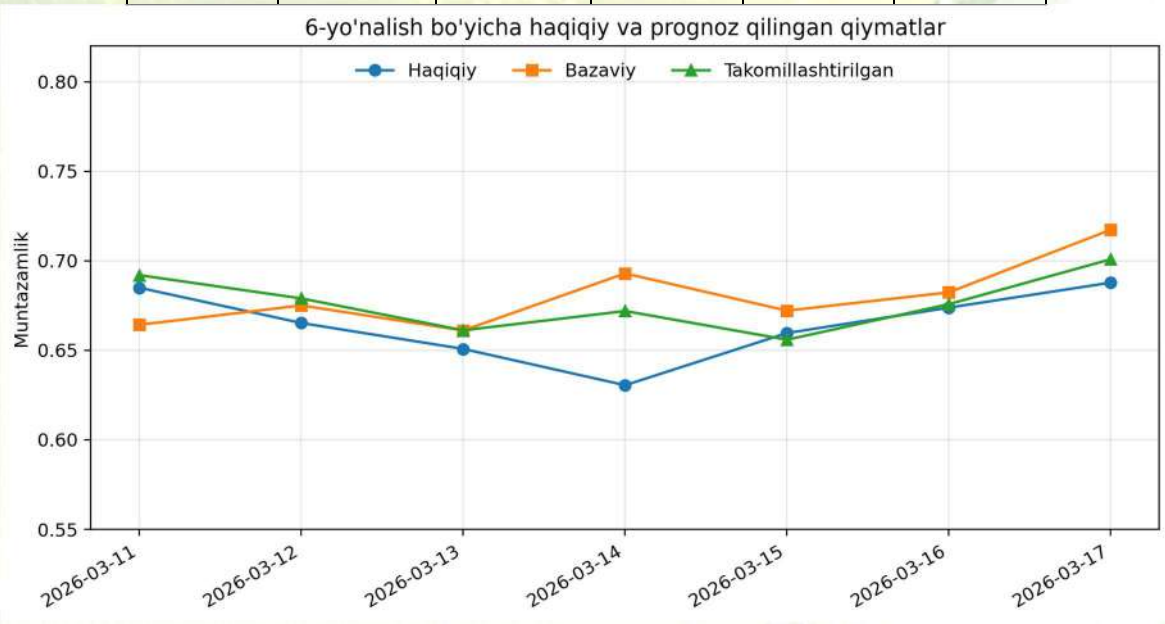
5-jadval.

6-yo‘nalish bo‘yicha 7 kunlik qiyosiy prognoz

Sana	Haqiqiy	Bazaviy	Takom.	|e| bazaviy	|e| takom.

ISSN 3030-3907

11.03	0.685	0.664	0.692	0.021	0.007
12.03	0.665	0.675	0.679	0.01	0.014
13.03	0.651	0.661	0.661	0.01	0.01
14.03	0.63	0.693	0.672	0.062	0.041
15.03	0.66	0.672	0.656	0.013	0.004
16.03	0.674	0.682	0.676	0.009	0.002
17.03	0.688	0.717	0.701	0.03	0.013

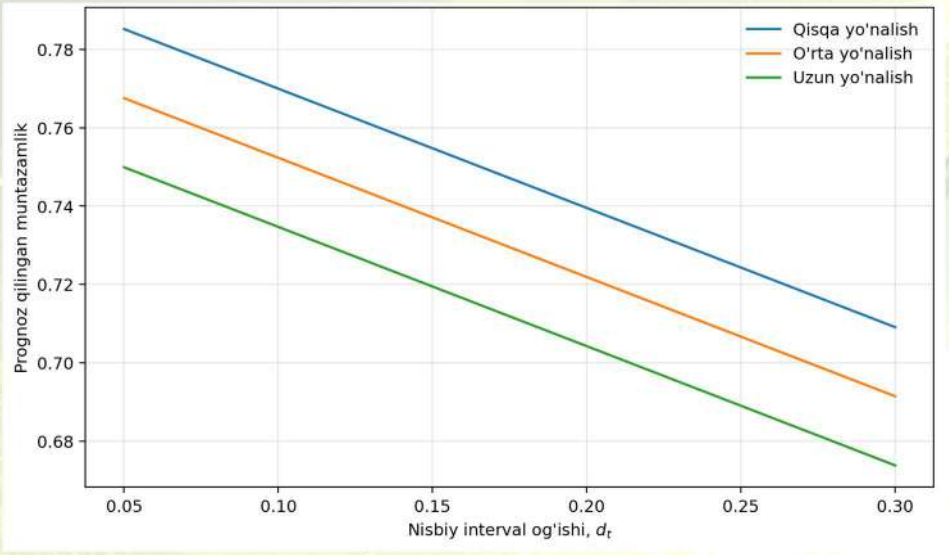


4-rasm. 6-yo‘nalish bo‘yicha haqiqiy va prognoz qilingan muntazamlik qiymatlari

4-rasm shuni ko‘rsatadiki, bazaviy model nisbatan keskin kunlarda, xususan interval va reys og‘ishlari bir vaqtda kuchaygan holatlarda muntazamlikni yuqoriroq baholab yuborishga moyil. Takomillashtirilgan model esa oldingi kun natijasi va yuklanish darajasini hisobga olgani sababli egri chiziqni haqiqiy dinamikaga yaqinroq ushlab turadi.

Modelning sezgirligi 5-rasmda tasvirlangan. Unda interval og‘ishi oshgani sari prognoz qilingan muntazamlik kamayadi; shu bilan birga uzun yo‘nalishlarda pasayish trayektoriyasi pastroq darajadan boshlanadi. Bu strukturaviy omilni modelga kiritish zarurligini ko‘rsatadi.

ISSN 3030-3907



5-rasm. Interval og‘ishi ortganda yo‘nalish uzunligiga ko‘ra muntazamlikning kamayishi

Prognoz natijasini boshqaruv qaroriga bog‘lash uchun quyidagi soddalashtirilgan tuzatish qoidasi taklif etiladi. Agar prognoz qilingan muntazamlik maqsadli chegaradan past tushsa, reja intervali korektsiya qilinadi yoki rezerv avtobus ajratiladi:

$$h_{i,t+1}^{new} = h_{i,t+1}^{plan}\left[1-\eta\left(R^{tar}-\hat{R}_{i,t+1}^{*}\right)\right], \qquad \hat{R}_{i,t+1}^{*} < R^{tar}$$

Bu yerda η - boshqaruv sezgirligi koeffitsiyenti. Bundan tashqari, pik davr uchun rezerv ehtiyojini baholash quyidagicha yozilishi mumkin:

$$n_{i,t+1}^{res} = \left\lceil \frac{Q_{i,t+1}^{peak}}{C_i} - m_i \right\rceil_{+}$$

Shunday qilib, prognoz modeli nafaqat monitoring instrumenti, balki dispetcherlik qarorini asoslash vositasi ham bo‘lib xizmat qiladi.

SSENARIYLI TAHLIL VA AMALIY SAMARADORLIKNI BAHOLASH

Taklif etilgan modelning amaliy qiymatini chuqurroq ochish uchun 6-yo‘nalish misolida ssenariyli tahlil bajarildi. Ushbu marshrut uchun bazaviy holat, intervalni 15 % tuzatish, pik davrni boshqarish va rezerv avtobus ajratish, shuningdek kompleks boshqaruv ssenariylari ko‘rib chiqildi. Ssenariylar operator nuqtayi nazaridan real bajarilishi mumkin bo‘lgan choralar ketma-ketligi sifatida tuzildi.

Birinchi ssenariy faqat dispetcherlik intervalini tartibga solishga qaratilgan bo‘lib, unda nisbiy interval og‘ishi 15 % ga kamaytiriladi. Ikkinchi ssenariyda interval og‘ishi bilan birga reys vaqti og‘ishi ham bir oz pasaytiriladi va pik davrda rezerv avtobus qo‘shilishi hisobiga yuklanish yumshatiladi. Uchinchi, ya’ni kompleks ssenariyda esa intervalni yanada barqarorlashtirish, reys vaqtini

ISSN 3030-3907

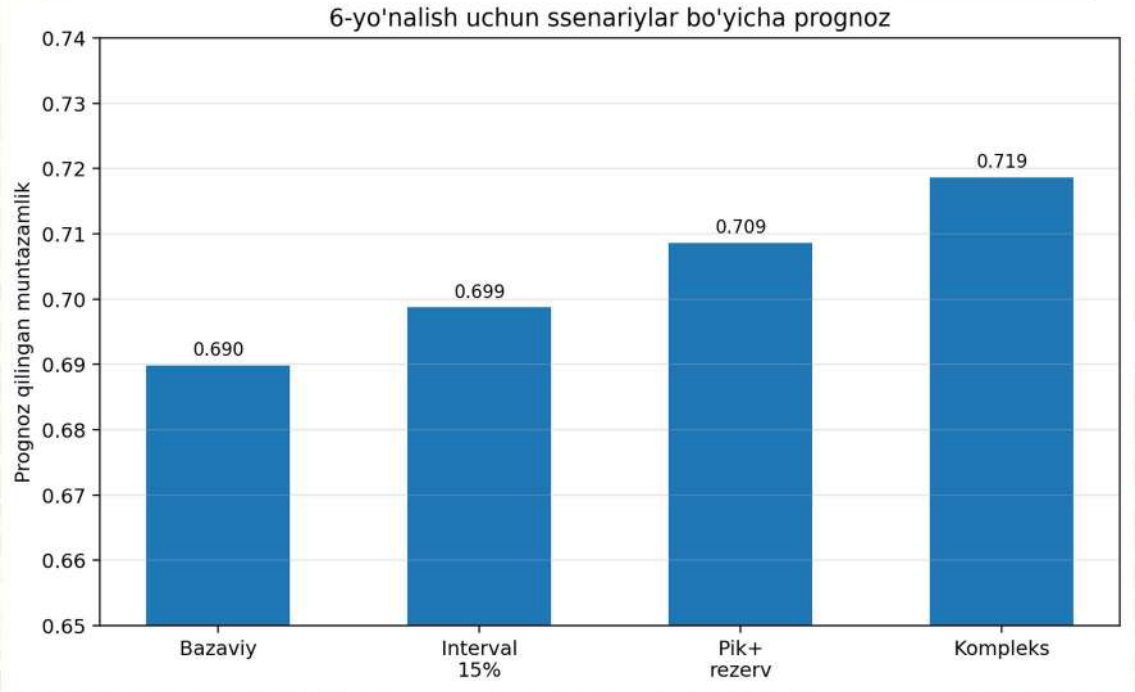
optimallashtirish, pik oqimni qayta taqsimlash va sig‘imdan foydalanishni muvozanatlash choralarining birgalikdagi effekti baholanadi.

6-jadval natijalari ko‘rsatadiki, ssenariylar yanada faolroq bo‘lgani sari prognoz qilingan muntazamlik ketma-ket ortadi. Shu bilan birga, kutish vaqti ham pasayadi. Demak, model operatorga faqat muammo mavjudligini aytibgina qolmay, har xil boshqaruv choralarining kutilayotgan natijasini oldindan baholash imkonini beradi.

6-jadval.

6-yo‘nalish bo‘yicha ssenariyli tahlil natijalari

Ssenariy	d	τ	q	P	Prognoz R	Kutish, min
Bazaviy holat	0.194	0.162	0.788	0.413	0.69	8.02
Intervalni 15% tuzatish	0.165	0.162	0.788	0.413	0.699	7.19
Pik boshqaruvi + rezerv	0.156	0.149	0.757	0.373	0.709	6.94
Kompleks boshqaruv	0.14	0.138	0.725	0.353	0.719	6.57



6-rasm. 6-yo‘nalish uchun ssenariylar bo‘yicha prognoz qilingan muntazamlik

6-jadval va 6-rasmga ko‘ra, kompleks boshqaruv ssenariysida prognoz qilingan muntazamlik 0.690 dan 0.719 gacha oshadi. Ayni paytda kutilayotgan o‘rtacha kutish vaqti 8.02 minutdan 6.57 minutgacha kamayadi, ya’ni taxminan 18.2 % ga yaxshilanadi. Bu natija xizmatni boshqarish samaradorligini baholashda

ISSN 3030-3907

muntazamlik va kutish vaqtini birgalikda ko‘rish kerakligini yana bir bor tasdiqlaydi.

Ssenariyli yondashuvning yana bir afzalligi shundaki, u investitsion va ekspluatatsion qarorlarni ustuvorlashtirishga yordam beradi. Masalan, faqat intervallarni tuzatish ma’lum foyda beradi, lekin pik davrni faol boshqarish va sig‘imni qayta taqsimlash bilan birgalikda sezilarliroq natija olinadi. Demak, rezerv park mavjud bo‘lsa, uni qaysi marshrut va qaysi vaqt oralig‘iga yuborish masalasi model yordamida iqtisodiy asoslanishi mumkin.

MODELNI AMALIY JORIY ETISH ALGORITMI.

Taklif etilgan modelni transport korxonasi yoki shahar dispetcherlik markazida joriy etish bosqichma-bosqich amalga oshirilishi mumkin. Birinchi bosqichda ma’lumot manbalari integratsiya qilinadi: marshrut pasporti, jadval, GPS/AVL, elektron to‘lov yoki yo‘lovchi sanash tizimi va dispetcherlik jurnali yagona omborchaga yig‘iladi. Ikkinchi bosqichda har kuni yoki har smena yakunida interval og‘ishi, reys vaqti og‘ishi, yuklanish va pik ulushi avtomatik hisoblanadi.

Uchinchi bosqichda kompozit muntazamlik indeksi $R_{i,t}$ shakllantiriladi va tarixiy qatorga yozib boriladi. To‘rtinchi bosqichda prognoz modeli keyingi davr uchun $\hat{R}^{*}_{i,t+1}$ ni hisoblaydi. Beshinchi bosqichda ushbu qiymat oldindan belgilangan xavf zonalari bilan taqqoslanib, operatorga tavsiya beriladi. Oltinchi bosqichda qabul qilingan choralar va ularning natijasi qayta bazaga kiritiladi; shu tariqa model doimiy o‘qitilib, adaptiv tizimga aylanadi.

Amaliy foydalanishda qaror qabul qilishni soddalashtirish uchun 7-jadvaldagi zonali matritsa tavsiya etiladi. Bu matritsa prognoz qilingan muntazamlik diapazonlariga qarab operatorning minimal harakatini belgilaydi. Bunday yondashuv dispetcher subyektivligini kamaytiradi va tezkor boshqaruvni standartlashtiradi.

7-jadval.

Prognoz qilingan muntazamlik bo‘yicha qarorlar matritsasi

Zona	$\hat{R}^{*}$ **diapazoni**	**Holat tavsifi**	**Operator tavsiyasi**
I	>= 0.80	Barqaror holat	Oddiy monitoring, jadvalni saqlash
II	0.72 - 0.80	Nazorat talab etiladigan holat	Pik davr kesimida intervallarni qayta tekshirish

ISSN 3030-3907

III	0.65 - 0.72	Xavfli holat	Rezerv avtobus, bekatlarda ushlab turish yoki intervalni qayta taqsimlash
IV	< 0.65	Kritik holat	Shoshilinch dispetcherlik aralashuvi, park resurslarini qayta joylash

7-jadvaldan foydalanish orqali boshqaruv jarayonida uchta metodik yutuq olinadi. Birinchidan, xavf zonalari aniq miqdoriy chegaraga ega bo‘ladi. Ikkinchidan, har bir zona uchun tavsiya etiladigan chora standartlashtiriladi. Uchinchidan, choralar natijasi keyingi davrda qayta o‘lchanib, adaptiv boshqaruv sikli hosil qilinadi. Shu ma’noda model oddiy analitik formula emas, balki ma’lumotlar bilan ishlovchi boshqaruv protokoli sifatida xizmat qiladi.

Modelni korxona miqyosida joriy etish jarayonida quyidagi tashkiliy shartlar muhim: ma’lumotlarning vaqt bo‘yicha sinxronligi, GPS nuqtalarini tozalash, bekatlar bo‘yicha yagona identifikator, jadval versiyalarini tarix bilan saqlash va dispetcher qarorlarini jurnalga yozib borish. Aynan shu shartlar bajarilganda model parametrlari noto‘g‘ri kalibrlanmaydi va operativ tavsiyalar ishonchli bo‘ladi.

MUHOKAMA.

Olingan natijalar muntazamlikni boshqarish masalasida bir nechta muhim xulosalarni beradi. Birinchidan, interval og‘ishi hanuz asosiy determinant bo‘lib qolmoqda, biroq u yagona omil emas. Agar marshrut uzunligi va yuklanish darajasi hisobga olinmasa, model tizimning ekspluatatsion murakkabligini past baholaydi. Ayniqsa uzun va ko‘p bekatli yo‘nalishlarda reja intervalining o‘zi yetarli tushuntirish bermaydi.

Ikkinchidan, oldingi kun natijasining ijobiy koeffitsiyenti tizimda kuchli inersiya mavjudligini ko‘rsatadi. Bu amaliyotda shuni anglatadiki, bir necha kun davom etgan beqarorlik keyingi davrga ham o‘tishi mumkin; demak, muammo aniqlangan zahoti tezkor chora ko‘rish zarur. Kechikib ko‘rilgan choralar esa ko‘pincha faqat simptomni kamaytiradi, sababni emas.

Uchinchidan, muntazamlikni kutish vaqti bilan bog‘lash operator uchun yanada aniqroq iqtisodiy talqin beradi. Masalan, ikki marshrutda o‘rtacha interval bir xil bo‘lishi mumkin, biroq interval variatsiyasi katta bo‘lgan yo‘nalishda yo‘lovchi kutish vaqti sezilarli ortadi. Shu bois muntazamlik ko‘rsatkichini yo‘lovchi manfaatidan uzib bo‘lmaydi.

Taklif etilgan modelning amaliy afzalligi shundaki, u bosqichma-bosqich joriy qilinishi mumkin. Dastlab jadval va GPS ma’lumotlari bilan interval og‘ishi hamda reys vaqti og‘ishi hisoblanadi. Keyingi bosqichda elektron to‘lov yoki kuzatuv asosida yuklanish darajasi qo‘shiladi. So‘ng operator yo‘nalish pasportidan marshrut uzunligi va ekspluatatsion tavsiflarni kiritib, to‘liq kompozit modelga o‘tadi.

ISSN 3030-3907

Shu bilan birga tadqiqotning cheklovi mavjud: maqoladagi hisob-kitob sinov paneli asosida bajarildi. Demak, metodning strukturaviy ustunligi ko‘rsatilgan bo‘lsa-da, kelgusida real shahardagi AVL, APC va dispetcherlik ma’lumotlari bilan kalibrlash, parametrlarni hududiy va vaqtinchalik sharoitlarga moslashtirish talab etiladi. Biroq aynan metodik karkas va parametrlar talqini ushbu maqolaning asosiy ilmiy natijasini tashkil etadi.

XULOSA.

Maqolada shahar yo‘nalishli avtobuslar harakat muntazamligini baholash va prognozlash uchun takomillashtirilgan matematik model ishlab chiqildi. Modelning birinchi qismi interval og‘ishi, reys vaqti og‘ishi, yuklanish, yo‘nalish uzunligi va pik soat ulushini hisobga oluvchi kompozit muntazamlik indeksini shakllantiradi. Ikkinchi qismi esa ushbu indeksning keyingi davrdagi qiymatini oldingi natija va ekspluatatsion omillar asosida prognozlaydi.

Shartli 8 yo‘nalish va 45 kunlik panel tanlanma asosidagi hisob-kitoblar takomillashtirilgan model bazaviy yondashuvga nisbatan ancha yuqori aniqlik berishini ko‘rsatdi: MAE 34.2 % ga, RMSE esa 29.6 % ga kamaydi. Bu natija muntazamlikni faqat ikki operatsion og‘ish bilan emas, balki talab va strukturaviy omillar bilan birgalikda tahlil qilish zarurligini tasdiqlaydi.

Nazariy jihatdan maqolaning yangiligi baholash va prognozlash bloklarining yagona modelga birlashtirilganidadir. Amaliy jihatdan esa taklif etilgan yondashuv dispetcherlik xizmati uchun xavfli kunlarni oldindan aniqlash, rezerv avtobus zaruratini baholash va reja intervalini adaptiv tuzatish imkonini beradi.

Kelgusidagi tadqiqotlarda modelni real vaqtli GPS/AVL va elektron to‘lov ma’lumotlari bilan kalibrlash, marshrutlararo o‘zaro ta’sirni tarmoqli modelga kiritish, shuningdek deterministik va stoxastik boshqaruv ssenariylarini AnyLogic yoki boshqa imitatsion muhitlarda tekshirish maqsadga muvofiq.

Kutiladigan iqtisodiy ta’sirni baholash uchun yordamchi formulalar

Mazkur ilovada taklif etilgan modelni joriy etishdan kutiladigan ijtimoiy-iqtisodiy samarani tezkor baholash uchun yordamchi formulalar keltiriladi. Maqolaning asosiy qismida modelning aniqligi va boshqaruvga ta’siri isbotlandi; amaliyotda esa operator va buyurtmachi organ ko‘pincha ushbu yaxshilanishning pul ifodasini ham ko‘rishni xohlaydi.

Yo‘lovchilar nuqtayi nazaridan eng muhim natija kutish vaqtining qisqarishidir. Agar bazaviy holatdagi o‘rtacha kutish vaqti W^0, yaxshilangan ssenariydagi qiymat esa W^1 bo‘lsa, bir davr uchun umumiy vaqt tejalishi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta T_{pass} = N_{pass} \cdot (W^0 - W^1)$$

ISSN 3030-3907

Bu yerda N_{pass} - mos davrda xizmatdan foydalangan yo‘lovchilar soni. Agar vaqt qiymati v_t so‘m/minut deb olinsa, yo‘lovchi vaqtining pul ekvivalentidagi samara quyidagicha yoziladi:

$$E_{pass} = v_t \cdot \Delta T_{pass}$$

Operator nuqtayi nazaridan esa rezerv avtobus yuborish, yoqilg‘i sarfi yoki haydovchi vaqti kabi qo‘shimcha xarajatlar mavjud bo‘lishi mumkin. Ular soddalashtirilgan ko‘rinishda quyidagi komponentlar bilan ifodalanadi:

$$C_{oper} = c_b \cdot n^{res} + c_h \cdot \Delta H + c_f \cdot \Delta L$$

Shunda sof integrallashgan samara quyidagi tenglama yordamida baholanadi:

$$E_{net} = E_{pass} - C_{oper}$$

Masalan, 6-yo‘nalish uchun bazaviy va kompleks ssenariy o‘rtasida kutish vaqti $W^0 - W^1 = 1.46$ minutga qisqardi. Agar pik davrda 1200 nafar yo‘lovchi xizmatdan foydalansa, umumiy vaqt tejalishi $\Delta T_{pass} = 1200 \times 1.46 = 1747.8$ yo‘lovchi-minutni tashkil etadi, ya’ni taxminan 29.1 yo‘lovchi-soatga teng. Bu qiymat operator xarajatlari bilan birgalikda ko‘rilganda modelni joriy etish samaradorligini raqamli baholash imkonini beradi.

Shunday qilib, taklif etilgan matematik model nafaqat texnik prognoz vositasi, balki xizmat sifatini iqtisodiy baholash uchun ham metodik asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin. Kelgusida real tariflar, yoqilg‘i xarajatlari va vaqt qiymati parametrlarini kiritish orqali to‘liq iqtisodiy samaradorlik moduli ishlab chiqilishi mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti. 2022-2026-yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida, PF-60-son Farmon, 28.01.2022.
2. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti. Aholiga transport xizmati ko‘rsatish va avtobuslarda yo‘lovchilar tashish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida, PQ-2724-son qaror, 10.01.2017.
3. O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti. “O‘zbekiston - 2030” strategiyasi to‘g‘risida, PF-158-son Farmon, 11.09.2023.
4. Diab E.I., Badami M.G., El-Geneidy A.M. Bus Transit Service Reliability and Improvement Strategies: Integrating the Perspectives of Passengers and Transit Agencies in North America // Transport Reviews. 2015. Vol. 35, No. 3. P. 292-328.
5. Tirachini A., Godachevich J., Cats O., Muñoz J.C., Soza-Parra J. Headway variability in public transport: a review of metrics, determinants, effects for quality

ISSN 3030-3907

of service and control strategies // Transport Reviews. 2021. Vol. 42, No. 3. P. 337-361.
6. Chen X., Yu L., Zhang Y., Guo J. Analyzing urban bus service reliability at the stop, route, and network levels // Transportation Research Part A. 2009. Vol. 43, No. 8. P. 722-734.
7. Yu H., Chen D., Wu Z., Ma X., Wang Y. Headway-based bus bunching prediction using transit smart card data // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2016. Vol. 72. P. 45-59.
8. Varga B., Tettamanti T., Kulcsár B. Optimally combined headway and timetable reliable public transport system control strategy // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2018. Vol. 92. P. 1-26.
9. Li Y. et al. En-route headway-based bus reliability with real-time data at network scale // Transportation Safety and Environment. 2020. Vol. 2, No. 3. P. 236-253.
10. Ansari Esfeh M., Wu J., Wirasinghe S.C., Kattan L. Waiting time and headway modeling considering unreliability // Transportation Research Part A. 2022. Vol. 155. P. 219-233.
11. Deepa L., Pinjari A.R., Nirmale S.K., Biswas M., Srinivasan K.K. The adverse impact of headway variability on bus transit ridership: Evidence from Bengaluru, India // Transport Policy. 2023. Vol. 141. P. 343-356.
12. Halyal S., Mulangi R.H. Investigating travel time variability and reliability of a bus rapid transit system: a case study using ITS-based AVL and APC data // Innovative Infrastructure Solutions. 2026. Vol. 11. Art. 240.

ISSN 3030-3907