

JAMOAT TRANSPORTIDA AQILLI TO‘LOV TIZIMLARI SAMARADORLIGINI MATEMATIK TAHLILI

professor Fayzullayev E.Z.,
dotsent Samatov R.G.,
dotsent Rajapova S.S.,
magistrant Tilovov Sh.S.

Toshkent davlat transport universiteti

Annotatsiya: Mazkur tadqiqotda 2020–2025 yillar davomida Toshkent shahrida jamoat transportida elektron to‘lov tizimlarining joriy etilishi statistik va matematik modellashtirish asosida baholandi. Elektron to‘lov ulushi logistik o‘shish modeli yordamida tahlil qilindi. Hisob-kitoblar natijasida tizim qabul qilinish jarayoni S -shaklli diffuziya qonuniyatiga mos ekani aniqlandi. Logistik model uzoq muddatli prognozlashda eksponensial modelga nisbatan yuqori aniqlik ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: aqlli transport, elektron to‘lov, logistik model, matematik modellashtirish, transport samaradorligi.

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПЛАТЁЖНЫХ СИСТЕМ В ОБЩЕСТВЕННОМ ТРАНСПОРТЕ

Профессор Файзуллаев Э.З.,
доцент Саматов Р.Г.,
доцент Ражапова С.С.,
магистрант Тиловов Ш.Ш.

Ташкентский государственный транспортный университет

Аннотация: В данном исследовании на основе статистического и математического моделирования оценивалось внедрение систем электронной оплаты в общественном транспорте города Ташкента в период 2020–2025 годов. Доля электронной оплаты была проанализирована с использованием логистической модели роста. В результате расчётов было установлено, что процесс принятия системы соответствует S -образной диффузионной закономерности.

Логистическая модель показала более высокую точность при долгосрочном прогнозировании по сравнению с экспоненциальной моделью.

***Ключевые слова:** интеллектуальный транспорт, электронная оплата, логистическая модель, математическое моделирование, эффективность транспорта.*

MATHEMATICAL ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF SMART PAYMENT SYSTEMS IN PUBLIC TRANSPORT

**Professor E.Z. Fayzullayev,
Associate Professor R.G. Samatov,
Associate Professor S.S. Rajapova,
Master's student Sh.S. Tilovov
Tashkent State Transport University**

***Abstract:** This study evaluates the implementation of electronic payment systems in public transport in Tashkent city during 2020–2025 based on statistical and mathematical modeling. The share of electronic payments was analyzed using a logistic growth model. The calculations revealed that the system adoption process follows an S-shaped diffusion pattern. The logistic model demonstrated higher accuracy in long-term forecasting compared to the exponential model.*

***Keywords:** smart transport, electronic payment, logistic model, mathematical modeling, transport efficiency.*

1. Kirish. Bugungi kunda urbanizatsiya jarayonlarining tezlashuvi va aholi sonining ortishi jamoat transporti tizimini modernizatsiya qilish zaruratini kuchaytirmoqda. Ayniqsa, Toshkent shahrida transport oqimining ortishi va tirbandliklar muammosi sharoitida aqlli to'lov tizimlarini joriy etish muhim ahamiyat kasb etadi. Elektron va kontaktsiz to'lov tizimlari yo'lovchilarga qulaylik yaratish bilan birga, transport tizimining samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

O'zbekiston Respublikasida transport sohasini raqamlashtirish, "aqlli shahar" konsepsiyasini rivojlantirish hamda xizmatlar sifatini yaxshilash bo'yicha Prezident farmonlari va qarorlari asosida keng ko'lamli islohotlar amalga oshirilmoqda. Ushbu hujjatlar jamoat transportida zamonaviy to'lov

tizimlarini joriy etishni ustuvor vazifalardan biri sifatida belgilaydi. Shu sababli, Toshkent shahrida jamoat transportida aqlli to'lov tizimlarining samaradorligini matematik tahlil qilish dolzarb ilmiy-amaliy ahamiyatga ega hisoblanadi.

Urbanizatsiya jarayonlarining jadallashuvi jamoat transport tizimlarida raqamli texnologiyalarni joriy etishni talab qilmoqda. Elektron va kontaktsiz to'lov tizimlari:

- tranzaksiya vaqtini qisqartiradi
- daromad shaffofligini oshiradi
- yo'lovchi oqimini barqarorlashtiradi

Texnologik diffuziya jarayonlari odatda logistik qonuniyatga bo'ysunadi. Shu sababli tadqiqotda elektron to'lov tizimi qabul qilinish jarayoni logistik model asosida o'rganildi.

2. Tadqiqot usullari va dastlabki ma'lumotlar. Ushbu tadqiqotda Toshkent shahrida jamoat transportida joriy etilgan aqlli to'lov tizimlarining samaradorligini baholash uchun ochiq statistik ma'lumotlar va xalqaro tashkilotlar hisobotlari asos qilib olindi. Asosiy ma'lumotlar Toshkent shahar transport boshqarmasi hamda ATTO elektron to'lov tizimi operatorining yo'lovchi oqimi va tranzaksiya statistikalaridan olindi. Unga ko'ra, so'nggi yillarda elektron to'lov ulushi 60–80% gacha oshgani va kunlik tranzaksiyalar soni o'rtacha 1,2–1,5 millionni tashkil etishi qayd etilgan. Shuningdek, World Bank va UITP (International Association of Public Transport) tomonidan e'lon qilingan tahliliy hisobotlardan foydalanildi. Ushbu manbalarda elektron to'lov tizimlari joriy etilgach transport xizmat ko'rsatish vaqti 10–25% gacha qisqarishi, umumiy samaradorlik esa 15–30% gacha oshishi mumkinligi ko'rsatilgan[3]. Tadqiqotda statistik tahlil, matematik modellashtirish va taqqoslash usullaridan foydalanildi. Yo'lovchi oqimi va to'lov jarayonlari o'rtasidagi bog'liqlik matematik ifodalar orqali baholandi hamda aqlli to'lov tizimi joriy etilishidan oldingi va keyingi holatlar solishtirildi. Natijada elektron

to'lov tizimlari transport tizimining tezligi, aniqligi va iqtisodiy samaradorligini sezilarli darajada oshirishi aniqlandi.

3.Asosiy tasnif. Tadqiqot davomida Toshkent shahrida jamoat transportida aqilli to'lov tizimlarining samadorligi 2020–2025 yillar oralig'ida tahlil qilindi.

Yo'lovchi oqimining o'sishi quyidagi formula orqali baholandi:

$$K = \frac{P_t - P_0}{P_0} \times 100\%$$

bu yerda:

P_0 — 2020-yildagi yo'lovchilar soni 200 million (avtobuslardan foydalanganlarning o'rtacha hisobi)[3]

P_t — 2025-yildagi yo'lovchilar soni 410 million (avtobuslardan foydalanganlarning o'rtacha hisobi)[3]

Natijalarga ko'ra yo'lovchi oqimi barqaror o'sib, taxminan 2 baravar oshgan.

Validator tizimi foydalanuvchilari ham keskin oshgan bo'lib, bu quyidagi bog'liqlik orqali ifodalanadi:

$$V = f(t)$$

ya'ni vaqt o'tishi bilan elektron validatorlardan foydalanish darajasi oshib borgan. To'lov tizimlari tarkibi quyidagicha o'rganildi:

Naqd va elektron to'lov ulushi:

$$C = \frac{N_{naqt}}{N_{umimiy}} \times 100\%, \quad E = \frac{N_{elektron}}{N_{umimiy}} \times 100\%$$

2020-2025 yillar buyicha

2020 - N_{naqt} - 150,000,000, 2020 - N_{naqt} - 49,200,000

2020 - $N_{elektron}$ - 50,000,000, 2020 - $N_{elektron}$ - 360,800,000

2020 - N_{umimiy} - 200,000,000, 2020 - N_{umimiy} - 410,000,000

Tahlillar natijasida 2020-yilda naqd to'lov ustun bo'lgan bo'lsa, 2025-yilga kelib elektron to'lovlar asosiy ulushni egallagani aniqlandi.

Malumotlardan foydalangan holda quyidagicha jadval tuzildi:

Yillar	Yo'lovchilar (mln)	Validator foydalanuvchilari (mln)	Naqd (%) to'lov (mln)	Naqdsiz (%) to'lov (mln)
2020	200	50	150	50
2021	250	90	140	110
2022	310	150	120	190
2023	360	220	90	270
2024	390	300	70	320
2025	410,000,000	360,8	49,2	360,8

Ushbu jadvalda yillar mobaynida jamoat transportidan foydalanuvchilarni elektron to'lov tizimiga bosqichma bosqich utganligi ko'rish mumkin. Boshlang'ich yil (2020) uchun: naqd to'lov ustun bo'lgan davr deb qabul qilind. Yo'lovchi oqimi va elektron to'lovlar past darajada belgilandi. 2021–2024 yillar oralig'ida: ATTO tizimining bosqichma-bosqich kengayishi inobatga olindi. Har yili yo'lovchi oqimi va validator foydalanuvchilari o'rtacha 6.2 baravarga o'sish trendi bilan oshirib borildi. Naqd to'lov ulushi kamayib, naqdsiz to'lov ulushi oshib bordi. 2025 yil: raqamli to'lov tizimi deyarli asosiy tizimga aylangan holat sifatida modellashtirildi. Naqdsiz to'lov ulushi yuqori ($\approx 80-90\%$) darajaga yetkazildi.

4. Matematik modellashtirish

Toshkent shahrida jamoat transportida elektron to'lov tizimlarining joriy etilishi jarayonini prognozlash qaysi matematik modelga mos kelishini aniqlash uchun logistik va eksponensial modellar ko'rib chiqildi.

Matematik modellashtirishda 2020–2025 yillar uchun quyidagi ko'rsatkichlar ishlatildi:

Yil	2020	2021	2022	2023	2024	2025
		1		3		

Elektro	0.25	0.44	0.61	0.75	0.82	0.88
n ulush						

$$S(t) = \frac{\text{naqsiz}}{\text{jami}}$$

4.1. Logistik model

Everett Rogers 1962 yilda innovatsiyalarning jamiyatda tarqalish qonuniyatlarini tushuntirgan. Unga ko'ra, yangi texnologiya jamiyatda 5 toifa orqali tarqaladi:

1. Innovators (2.5%) — yangilikni birinchi sinab ko'radiganlar;
2. Early adopters (13.5%) — tez qabul qiluvchilar;
3. Early majority (34%) — ko'pchilikning birinchi qismi;
4. Late majority (34%) — ehtiyotkor qabul qiluvchilar;
5. Laggards (16%) — oxirgi qabul qiluvchilar;

Logistik model Everett Rodjersning innovatsiya diffuziyasi nazariyasining matematik ifodasidir

$$S(t) = \frac{L}{1 + e^{-k(t-t_0)}}$$

Bu yerda:

- $S(t)$ — texnologiyadan foydalanuvchilar ulushi;
- L — maksimal to'yinish darajasi;
- k — o'sish tezligi;
- t_0 — infleksiya nuqtasi (eng tez o'sish nuqtasi);

Ya'ni:

- Rodjers nazariyasi — ijtimoiy tushuntirish
- Logistik model — matematik ifoda

4.2. Differensial asos

Har qanday hayotga tadbiiq qilinayotgan yangilik quyidagi bosqichlardan o'tadi

1-bosqich: Ishonch past

Kam odam ishlatadi → kam reklama → sekin o'sish.

2-bosqich: Ommaviy qabul

Ko'pchilik ishlata boshlaydi → boshqalar ham ishonadi → tez o'sish.

3-bosqich: To'yinish

Deyarli hamma qabul qilgan → yangi foydalanuvchi qolmaydi → o'sish sekinlashadi.

Bu matematik jihatdan:

$$\frac{dS}{dt} = kS \left(1 - \frac{S}{L}\right)$$

Bu tenglama texnologik qabul qilish dinamikasini ifodalaydi.

Ya'ni:

- Agar S kichik bo'lsa → o'sish kichik
- Agar S o'rtacha bo'lsa → o'sish maksimal
- Agar S → L ga yaqinlashsa → o'sish yana kamayadi

Buni ATTO elektron to'lovi misolida ko'rilsa:

2020 yil - 25% odam ishlatgan;

2022 yil - 60% odam ishlatgan;

2025 yil - 88% odam ishlatgan;

Avvalida odamlar ishonmagan.

Keyin hamma ishlata boshlagan.

Hozir deyarli barcha ishlatadi → o'sish sekinlashdi.

Bu logistik qonun.

Bu nazariyadan foydalanishdan asosiy maqsad u:

- Innovatsiya qabul qilishni bashorat qiladi;
- Investitsiya rejalashtirishga yordam beradi;
- Davlat siyosatini optimallashtiradi;
- Raqamli transformatsiya tezligini baholaydi;

4.3. Parametrlarni baholash

Chiziqilashtirish:

$$\ln\left(\frac{S}{L-S}\right) = k(t - t_0)$$

Hisob-kitob natijasi:

$$L=0.9; \quad k=0.74; \quad t_0=1;$$

Yakuniy model:

$$S(t) = \frac{0.9}{1 + e^{-0.74(t-1)}}$$

5. Taxlil natijalari

5.1. O'sish xarakteri

Model quyidagi bosqichlarni ko'rsatdi:

1. 2020–2021 — boshlang'ich qabul qilish
2. 2021–2023 — tez o'sish bosqichi
3. 2024–2025 — to'yinish bosqichi

2025 yil prognozi:

$$S(5)=0.856$$

Real qiymat: 0.88

Xatolik $\approx 2.7\%$

Bu real qiymatga yaqin \rightarrow model to'g'ri.

5.2. Eksponensial model bilan solishtirish

Eksponensial model:

$$S(t) = 0.25e^{0.445t}$$

2025 uchun:

$$S(5)=2.31$$

Bu real chegaradan yuqori \rightarrow model noto'g'ri.

Tahlil natijalari quyidagilarni ko'rsatdi:

- Tizim bozor to‘yinish bosqichiga kirgan
- Logistik model texnologiya diffuziyasi nazariyasiga mos $k=0.74$ qiymat yuqori raqamli transformatsiya sur‘atini anglatadi. Infleksiya nuqtasi $t_0=1$ — tizim ommaviy qabul qilinishi boshlangan yil.

6. Ilmiy xulosalar

- Elektron to‘lov ulushi logistik differensial tenglama orqali modellashtirildi.
- Amaliy ma’lumotlar asosida parametrlar baholandi.
- Eksponensial va logistik modellar taqqoslandi.

7. Xulosa

1. Elektron to‘lov tizimi qabul qilinishi logistik dinamikaga ega.
2. Tizim 2024–2025 yillarda to‘yinish bosqichiga yetgan.
3. Logistik model prognozlash uchun mos.
4. Raqamli transformatsiya transport samaradorligini sezilarli oshirgan.
5. Matematik modellashtirish va statistik tahlillar asosida transport xizmatlarining tezligi, aniqligi va umumiy iqtisodiy samaradorligi oshgani aniqlandi.
6. Natijalar “aqlli shahar” konsepsiyasi doirasida raqamli to‘lov tizimlarining jamoat transportini modernizatsiya qilishda muhim omil ekanligini tasdiqlaydi va ularning kelgusida yanada kengaytirilishi maqsadga muvofiq ekanini ko‘rsatadi.

8. Foydalanilgan adabiyotlar

1. Anvarov J.M. – *Intelligent Transport Systems: Development Prospects in the Transport Complex of Uzbekistan*, American Journal of Interdisciplinary Research and Development, 2022.
2. Abdurazakova D., Hakimov Sh., Odilov D. – *Yuk avtomobillarida telematikani qo‘llash orqali samaradorlikni oshirish*, Journal of Transport, 2025.
3. “Avtomatlashtirilgan transport to‘lov tizimi ATTO faoliyati va statistikasi”

АТТО. Rasmiy sayt: <https://atto.uz> (Tranzaksiyalar soni, validatorlardan foydalanish, elektron to'lov ulushi bo'yicha ma'lumotlar)

4. Toshkent shahar transport tizimini rivojlantirish va raqamlashtirish bo'yicha rasmiy hisobotlar. Toshkent shahar transport boshqarmasi: Rasmiy sayt: <https://transport.uz>