ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПЕРИОД ОКУПАЕМОСТИ ВНЕДРЕНИЯ МЕТРО БЕЗ ВОДИТЕЛЕЙ В УЗБЕКИСТАНЕ

Турсунов Зокир Шухратович
Кандидат технических наук доцент Ташкентского государственного транспортного университета
tursunovzokirjon@mail.ru

Асатиллаев Амирмухаммад Ахадали ўғли
магистрант Ташкентского государственного транспортного университета
astillayevamirmuhammad14@gmail.com

Аннотация: В этой статье анализируется экономическая эффективность и период окупаемости внедрения беспилотной (полностью автоматизированной) системы метро в Узбекистане. В исследовании рассматривается современная традиционная (машинистская) система управления ташкентским метро, его строительные и эксплуатационные расходы, а также проводится сравнительный анализ с технологиями метро без машиниста. На основе опыта зарубежных стран демонстрируются экономические и эксплуатационные преимущества автоматизированных систем метро. Кроме того, в результате внедрения метро без водителя подтверждается сокращение численности персонала, снижение эксплуатационных расходов, а также повышение безопасности и эффективности дорожного движения. Согласно результатам исследования, система метро без водителя, несмотря на относительно высокие начальные инвестиционные затраты, в долгосрочной перспективе является экономически выгодной и имеет потенциал оправдать себя.

Ключевые слова: метро, метро без водителей, автоматизированное управление, экономичность затрат, период окупаемости, транспортная инфраструктура

Система метро стала важнейшей частью городского транспорта. Ташкентское метро было введено в эксплуатацию в 1977 году как первая метрополитенная система Центральной Азии, играющая важную роль в удовлетворении потребностей ежедневной мобильности населения. В связи с ростом населения города в последние годы и увеличением пробок строительство новых линий метро и модернизация существующей инфраструктуры остаются неотложной задачей.

Сегодня метро Узбекистана функционирует на основе традиционной системы управления, где поездами управляют машинисты-люди. В то же время системы, зависящие от человеческого фактора, увеличивают эксплуатационные расходы, усложняют контроль безопасности и снижают операционную эффективность. Зарубежный опыт показывает, что беспилотные (полностью автоматизированные) системы метро в долгосрочной перспективе повышают эффективность затрат, снижают эксплуатационные издержки и повышают уровень безопасности.

Экономические недостатки традиционной метрополитенной системы

Метро Узбекистана сейчас работает по традиционной системе управления, то есть поездами управляют водители. Несмотря на преимущества этой системы, существует несколько недостатков стоимости:

1. Затраты на строительство

Затраты на строительство традиционного метро в основном составляют:

- Строительство станций и тоннелей,
- Дорожные и железнодорожные сооружения
- Система сигнализации и управления
- Энергоснабжение и техническое оборудование

Например, стоимость строительства новой линии (8 км) ташкентского метрополитена составила около 110 миллионов долларов США. Это значение также включает минимальные

затраты для традиционной системы, подходящей для управления людьми.2. Эксплуатационные расходы

Эксплуатационные издержки в традиционных системах выше, потому что:

• Много водителей и техников

• Высокое обслуживание, сигнализация и энергопотребление

• Будет привлечен дополнительный персонал для обеспечения безопасности дорожного движения

Таким образом, из года в год эксплуатационные расходы растут, что снижает долгосрочную экономическую эффективность системы.

3. Зависимость от человеческого фактора

Традиционные системы будут зависеть от человеческого фактора. Это означает:

• Увеличивает ошибки в трафике

• Увеличивает время реагирования на экстренные ситуации

• Ограничивает эффективность линий метро

В результате расходы на персонал и безопасность возрастут.

Метро без водителей: теоретическая основа и зарубежный опыт

1. Концепция метро без водителя

Метро без машиниста (автоматическое метро) — это транспортная система, в которой поезда движутся без человека-водителя, используя полностью централизованную систему управления. Такие системы обычно имеют автоматизацию уровня 4 согласно стандарту GoA (Grade of Automation), который подразумевает полностью автоматическое управление.

Преимущества:

• Снижает мобильность без водителя → затраты на труд

• Интервал передвижения оптимизируется, → увеличивается поток пассажиров • Высокий уровень безопасности → снижение ошибок, вызванных человеческим фактором Зарубежный опыт:

В таких городах, как Париж, Сингапур, Дубай и Торонто, успешно используют метро без машинистов. Эти эксперименты показывают, что внедрение метро без машинного оборудования не только повышает эффективность транспорта, но и является экономически выгодным в долгосрочной перспективе.

Автоматизированные системы метро успешно работают в нескольких развитых городах мира:

Штат	Город	Тип системы	Год введения	Примечание
Франция	Париж	GoA4	1998	Полностью автоматизированное метро
Сингапур	Сингапур	GoA4	2003	Высокий пассажиропоток, повышенная безопасность
ОАЭ	Дубай	GoA4	2009	Полностью автоматизировано, снижены операционные расходы
Канада	Торонто	GoA4	2017	Пассажиропоток максимизирован
Германия	Франкфурт	GoA4	2010	Работает с автоматизированным управлением
Южная Корея	Сеул	GoA4	2009	Эффективная и безопасная транспортная система
Швеция	Стокгольм	GoA4	2010	Повышение безопасности и производительности

Но на практике существует больше стран, внедривших беспилотные метро: всего 20+ стран, включая Китай (Шэньчжэнь, Гуанчжоу), Австралию (Сидней), Великобританию (London DLR), Данию (Копенгаген), Норвегию (Осло) другие.



Метро Пушкин–ТТЗ в Ташкенте

Ташкентское метро является самой важной частью транспортной системы города и было введено в эксплуатацию в 1977 году. Поэтому строительство новых линий и расширение существующей инфраструктуры являются неотложной задачей. Маршрут от станции Пушкин до территории Ташкентского тракторного завода (ТТЗ) планируется как новая линия метро длиной 10,8 км, проходящая от центральной части города до отдалённых промышленных зон.

Классификация направлений:

- Отправная точка: станция метро Пушкин (улица Чиланзор)
- Конечная точка: ССТ (Ташкентский тракторный завод)
- Количество остановок: 10
- Длина: 10,8 км (5,5 км над землёй, 5,3 км под землёй)
- Количество движущихся поездов: 10 единиц
- Средний диапазон движения: 5 минут
- Время ходьбы: 17 минут• Время движения на полный цикл: 50 минут

1. Расчёт количества поездов по интервалам и времени в пути:

📌 Результат: для направления Пушкина–TZ потребуется композиция движения 10 (SASTAV), исключая резерв



Классификация направлений

• Отправная точка: станция метро Пушкин (улица Чиланзор)
• Конечная точка: ССТ (Ташкентский тракторный завод)
• Количество остановок: 10
• Длина: 10,8 км (5,5 км над землёй, 5,3 км под землёй)
• Количество движущихся поездов: 10 единиц
• Средний диапазон движения: 5 минут
• Время ходьбы: 17 минут
• Время движения на полный цикл: 50 минут
• Пассажиропоток: ежедневно: 85 000 пассажиров, ежегодное: 60 миллионов пассажиров
• Средняя нагрузка: в каждом составе: 8 000–8 500 пассажиров, на вагон: 2 000–2 125 пассажиров

Учёт расходов

Годовая стоимость одного поезда

Тип затрат	Сумма	Годовая стоимость (миллионы UZS)
Машинисты (5 × 8 миллионов в месяц)	5	480
Инструкторы (4 × 11 миллионов в месяц)	4	528
Энергетика и эксплуатация	-	550
Расходы на питание	9	108
Стоимость общежития/проживания	9	162
Стоимость медицинского осмотра	9	54
Расходы на пенсию	9	432

Общая стоимость поездов: 2 314 миллионов сумов (~ 2,31 миллиарда сумов)

Эксплуатационные расходы на 10 поездов

Общие годовые эксплуатационные расходы на 10 поездов:
2 314 миллионов × 10 = 23 140 миллионов SO'm (~23,14 миллиарда SO'm)
К этим расходам относятся:
• Зарплата машинистов и инструкторов
• Энергетика и эксплуатация
• Расходы на питание
• Расходы на общежитие/проживание

• Расходы на медицинское обследование
• Пенсионные расходы
Цена покупки поездов
• Bitta poyezd narxi: $60 млн
• 10 Та Poyezd Narxi: $60 миллионов × 10 = $600 миллионов • При конвертации в узы ($ = 11 000 UZS): 600 × 11 000 = 6 600 000 миллионов сум (~6,6 триллиона UZS)

Общая стоимость 10 поездов за первый год

• Операционные расходы: 23,14 миллиарда сум (~0,02314 триллиона сумов)
• Закупки поездов: 6,6 триллиона сум
• Общие расходы за первый год: 6,6 + 0,02314 ≈ 6,623 триллиона сумов
В последующие годы будут только операционные расходы (~23,14 миллиарда сумов в год).

Тип затрат	Сумма	Годовая стоимость
Операционные расходы (зарплата, преподаватель, пенсия, питание, общежитие, медицинский осмотр, энергия)	10	23,14 миллиарда сумов
Покупка поездов	10	6,6 триллиона UZ
Итоговое количество первокурсников	-	~6,623 триллиона сум

В последующие годы: только операционные расходы ~ 23,14 миллиарда сумов в год

Различия заключаются в немашинистской системе:

• Нет машинистов и инструкторов, → зарплаты сотрудников и пенсионные расходы будут снижены.

• Только: расходы на эксплуатацию, питание, общежитие, медицинское обследование ведутся, но преподавателей нет, так как нет преподавателей.

• В системе без машиниста на поезд может быть персонал: технический, надзорный и вспомогательный персонал. Например, 4 сотрудника (операторов и техников) на поезд.

Данные (оценочные): • Количество сотрудников: 4
• Ежемесячная зарплата: 8 миллионов сум за работника
• Питание: 1 миллион/сотрудник/месяц
• Общежитие: 1,5 миллиона сотрудников/месяц
• Медицинское обследование: 0,5 миллиона на сотрудника в месяц
• Пенсия: 4 миллиона / работник в месяц
• Энергия и эксплуатация: $50,000/год ($500,000 за 10 поездов)
1 Годовая стоимость поезда (персонал + энергия и эксплуатация)

Зарплаты сотрудников: 4 × 8 миллионов × 12 = 384 миллиона сум	Питание: 4 × 1 миллион × 12 = 48 миллионов сум
Общежитие: 4 × 1,5 миллиона UZS × 12 = 72 миллиона UZS	Медицинское обследование: 4 × 0,5 миллиона × 12 = 24 миллиона сум
Пенсия: 4 × 4 миллиона × 12 = 192 миллиона сум	Энергия и эксплуатация (1 поезд): 50 000 $ × 11 000 = 550 миллионов UZS

Всего один поезд: 384 + 48 + 72 + 24 + 192 + 550 = 1 270 миллионов Сум (~1,27 млрд Сум)
2 Общая годовая эксплуатационная стоимость 10 поездов
1 270 млн × 10 = 12 700 млн Сум (~12,7 млрд Сум)
3 Покупка поездов (10 поездов без машинистов)

• Стоимость поезда без машиниста: около 65 миллионов долларов (может быть дороже, так как без машиниста)

• 10 пойездов ТА: 65 × 10 = $650 миллионов

• В UZS: 650 × 11 000 = 7 150 000 миллионов сум (~7,15 триллиона UZS)

4 Общая стоимость за первый год (покупка поезда + эксплуатация)

• Операционные расходы: 12,7 миллиарда сум (~0,0127 триллиона)

• Закупки поездов: 7,15 триллиона сум

Всего за первый год: 7,15 + 0,0127 ≈ 7,1627 триллионов сумов

📌 Результат: • Общая стоимость 10 поездов в системе без машиниста за первый год составляет ~7 163 триллиона сумов

• В последующие годы — только операционные расходы (~12,7 миллиарда сумов в год).

Тип затрат	Сумма	Годовая стоимость
Операционные расходы (зарплата, преподаватель, пенсия, питание, общежитие, медицинский осмотр, энергия)	10	12,7 миллиарда сум
Покупка поездов	10	7,15 триллиона сум
Итоговое количество первокурсников	-	~7,163 триллиона сум

В последующие годы: только операционные расходы ~ 12,7 миллиарда сумов в год

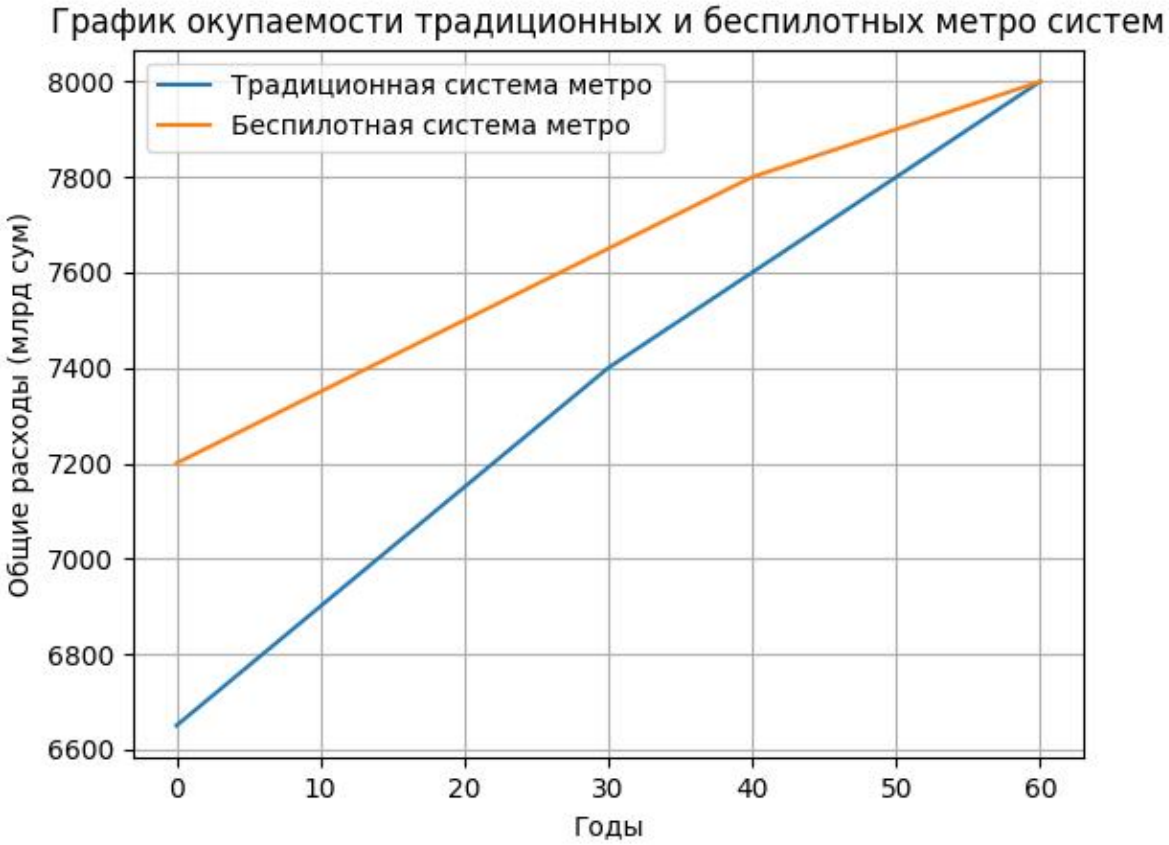
Сравните

Тип затрат	Просто	Беспилотный
Пойезд наркси (10 та)	6,6 триллиона UZ	7,15 триллиона сум
Эксплуатационные расходы в год	23,14 миллиарда сумов	12,7 миллиарда сум
Общая стоимость первого года	6 623 триллиона сум	7 163 триллиона сум
Расходы последующих лет	23,14 миллиарда сумов	12,7 миллиарда сум

Период экономического сравнения и окупаемости метро

Схема ниже сравнивает общие затраты на традиционные (без водителя) и без машинистов метро по годам. На основе схемы определяется период самообоснования системы метрополирования без машиниста.

Диаграмма самообоснования



Как видно из схемы, общая стоимость системы метро без машинистов начнёт быть ниже стоимости традиционной системы метро примерно с 52 по 2015 год. Это показывает, что срок окупаемости метро без водителя составляет около 52 лет.

Заключение: Согласно результатам расчётов и графического анализа, система метро без машинистов, хотя изначально и имеет высокие инвестиционные затраты, экономически эффективна благодаря снижению эксплуатационных расходов в долгосрочной эксплуатации.

Заключени

Анализ и расчёты показали, что в Узбекистане технически и экономически актуальны вопросы внедрения метро без водителей (полностью автоматизированной). В ходе исследования сравнивались капитальные и эксплуатационные затраты традиционной (машинистской) метро и метро без водителя, а также оценивалась их долгосрочная экономическая эффективность.Согласно расчётам, начальные инвестиционные затраты в систему метро без машинистов выше, чем в традиционной системе, что в основном объясняется сложностью поездов и автоматизированных систем управления. Однако в процессе эксплуатации система метро без токаря требует значительно меньших эксплуатационных затрат. В частности, сокращение трудозатрат, социальных и пенсионных расходов, связанных с машинистами и инструкторами, приведёт к снижению ежегодных расходов.

Основываясь на графике общих затрат по годам, установлено, что система метро без водителя экономически оправдает себя примерно в диапазоне 50–52 лет. Этот показатель рассчитывается только на основе прямых финансовых расходов и с учётом таких факторов, как увеличение пассажиропотока, сокращение интервала действий, уменьшение аварий и поломок, повышение энергоэффективности, тогда период реального обоснования может быть значительно сокращен.

В то же время введение метро без водителя имеет значение не только с экономической точки зрения, но и с социальной и безопасной точки зрения. Уменьшение «человеческого вала»

повышает безопасность движения, обеспечивает стабильность движения поездов и повышает общую надёжность системы метро.

В заключение отмечается, что при проектировании и строительстве новых линий метро в условиях Узбекистана считается целесообразным постепенно внедрять технологию метро без водителей. Такой подход позволяет в долгосрочной перспективе повысить экономичность метро, снизить эксплуатационные издержки и обеспечить устойчивое развитие городской транспортной системы

Литература

1. «Автоматизация и управление поездами транспортных систем». – Ташкент: Издательство Ташкентского государственного транспортного университета, 2022. - 145 b.
2. «Экономическая эффективность модернизации систем метро в Узбекистане». – магистерская диссертация, Ташкентский государственный транспортный университет, 2025.
3. UITP (Международная ассоциация общественного транспорта). «Автоматизация в системах метро — кейсы GoA4». – Брюссель: UITP, 2021.
4. Гивони М., Банистер Д. «Транспорт, окружающая среда и здоровье». – Лондон: Routledge, 2019.
5. Седер А. «Планирование и эксплуатация общественного транспорта: теория, моделирование и практика». – 2-е издание. – Бока-Ратон: CRC Press, 2021.
6. Смит Дж., Вонг П. «Беспилотные системы метро: экономический и безопасный анализ». – Transportation Research Procedia, 2018, том 36, стр. 123–130.
7. Официальный сайт ташкентского метрополитена «Отдел ремонта и проектов». [Онлайн]. – https://www.metro.uz
8. Автоматические линии метро Паридж. Годовой отчёт RATP, 2020.
9. Проект автоматизации метро Сингапур. Отчёт Управления по наземному транспорту (LTA), 2019 год.
10. Обзор автоматизации метро Dubay. Технический отчёт Управления дорог и транспорта (RTA), 2021 год.