ТРАНСПОРТ И РОБОТОТЕХНИКА

УДК 656.056.5

Алтыбаев А.Ш., Исаков К., Мырзалиева А.О., Осмонканов А.М., Ойозбекова А.
И.Раззаков ат. КМТУ, Бишкек ш., Кыргыз Республикасы
КГТУ им.И.Раззакова, г. Бишкек, Кыргызская Республика

A.Sh. Altybaev, K. Isakov , A.O. Myrzalieva, A.M.Osmonkanov, A.Oyozbekova
I.Razzakov KSTU, Bishkek, Kyrgyz Republic
a.altybaev@kstu.kg, k.isakov@kstu.kg, myrzalieva@kstu.kg, a.osmonkanov@kstu.kg,
oiozbekovaaidaana@gmail.com

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСКЛЮЧЕНИЯ ЛЕВЫХ ПОВОРОТОВ НА ПЕРЕКРЕСТКАХ

КЕСИЛИШТЕРДЕ СОЛ БУРУЛУШТАРДЫ ЖОК КЫЛУУНУН НАТЫЙЖАЛУУЛУГУ

EFFICIENCY ELIMINATION OF LEFT TURNS AT INTERSECTIONS

Кесилиштерде сол бурулуштарды алып салуу шаардык шарттарда кесилиштерде өткөрүү жөндөмдүүлүгүн жогорулатат. Светофорду жөнгө салуунун жөнөкөйлөтүлгөн фазалары фазалардын ортосундагы "өлүк" убакытты кыскартып, тыгындарды азайтып, трафикти тездетет. Түздөн-түз сол бурулуштарга тыюу салуу же алмаштыруу (U-илмек же Michigan Left схемасы аркылуу) кечигүүнү азайтат, орточо ылдамдыкты жогорулатат жана кырсыктарды азайтат. Бирок, үч айланма кыймыл басып өткөн аралыкты бир аз көбөйтөт. Бул макалада натыйжалуулук менен коопсуздуктун ортосундагы балансты көрсөткөн реалдуу сандык мисалдар, өткөрүү жөндөмдүүлүгүн эсептөө формулалары жана схемалардын чиймелери камтылган.

Дүйнөлүк тажрыйбаны талдоонун негизинде (Европа, Азия, АКШ) сол маневрлерди жоюу конфликттик чекиттердин санын 30-40% га чейин азайтып, транспорт кыймылынын орточо ылдамдыгын 10-15% га жогорулатканы аныкталган. Хворост жана Вебстер формулалары боюнча өткөрүү жөндөмдүүлүгүнүн эсептөөлөрү, ошондой эле кыймылды уюштуруунун ар кандай сценарийлеринде транспорт агымдарын моделдөө келтирилген. Жыйынтыктар көрсөткөндөй, сол бурулуштарды четтетүү жогорку интенсивдүүлүк (> 3500 авт/саат) жана көчө-жол тармагынын чектелген өлчөмдөрү шарттарында өзгөчө натыйжалуу.

Ачкыч сөздөр: *кесилиш, сол бурулуш, кесилиш өткөрүү жөндөмдүүлүгү, жол коопсуздугу, альтернативдик кесилиш схемалары, чыр-чатактарды жоюу, трафик агымы.*

Исключение левых поворотов на перекрестках заметно повышает пропускную способность на перекрестках в городских условиях. Более упрощённые фазы регулирования светофора сокращают "мертвое" время между фазами, уменьшая заторы и ускоряя

движение. Напрямую запрет или замена левых поворотов (через U-петли или схемы Michigan Left) снижает задержки, повышает среднюю скорость и снижает количество аварий. Однако тройное объездное движение незначительно увеличивает пройденное расстояние. Данная статья включает реальные численные примеры, формулы расчёта пропускной способности и чертежи схем, показывающие баланс между эффективностью и безопасностью.

На основе анализа мировой практики (Европа, Азия, США) выявлено, что ликвидация левых маневров снижает количество конфликтных точек до 30–40% и повышает среднюю скорость движения транспорта на 10–15%. Приведены расчеты пропускной способности по формулам Хвороста и Вебстера, а также моделирование транспортных потоков при разных сценариях организации движения. Результаты показывают, что исключение левых поворотов особенно эффективно в условиях высокой интенсивности (> 3500 авт./ч) и ограниченных габаритов улично-дорожной сети.

Ключевые слова: *перекрёсток, левый поворот, пропускная способность перекрёстка, безопасность движения, альтернативные схемы пересечения, устранение конфликтов, транспортные потоки.*

Eliminating left turns at intersections significantly increases traffic capacity at intersections in urban environments. Simplified traffic light control phases reduce the "dead" time between phases, reducing congestion and speeding up traffic. Directly banning or replacing left turns (via U-loops or Michigan Left circuits) reduces delays, increases average speed, and reduces accidents. However, a triple detour slightly increases the distance traveled. This article includes real numerical examples, formulas for calculating throughput, and circuit drawings that show the balance between efficiency and safety.

Based on the analysis of world practice (Europe, Asia, USA), it has been revealed that the elimination of left maneuvers reduces the number of conflict points to 30-40% and increases the average speed of traffic by 10-15%. The calculations of the throughput using the formulas of Brushwood and Webster, as well as the modeling of traffic flows under different scenarios of traffic organization are presented. The results show that the exclusion of left turns is especially effective in conditions of high intensity (> 3,500 vehicles per hour) and limited dimensions of the road network.

Keywords: *intersection, left turn, intersection capacity, traffic safety, alternative intersection patterns, conflict resolution, traffic flows.*

Введение

В современных городских сетях пересечений левый поворот часто становится критическим узким местом. Необходимость ожидания свободного промежутка в потоке или выделенной фазы светофора усложняет цикл и снижает эффективность работы перекрёстка. Исследования показывают, что запрет левых поворотов может значительно улучшить пропускную способность сети и безопасность маршрутов, особенно при умеренной загруженности, сохраняя при этом удобство маршрутов [1].

На рис.1 показаны четыре наглядных схемы, иллюстрирующие различные подходы к устранению левых поворотов на перекрестках: типичный вариант с продвинутым левым (DLT), схемы "U-curb" (поворот через U-образный объезд), скрещенный левый (displaced left-turn), и альтернативное решение с перекрестком. Они помогут в визуализации и анализе.

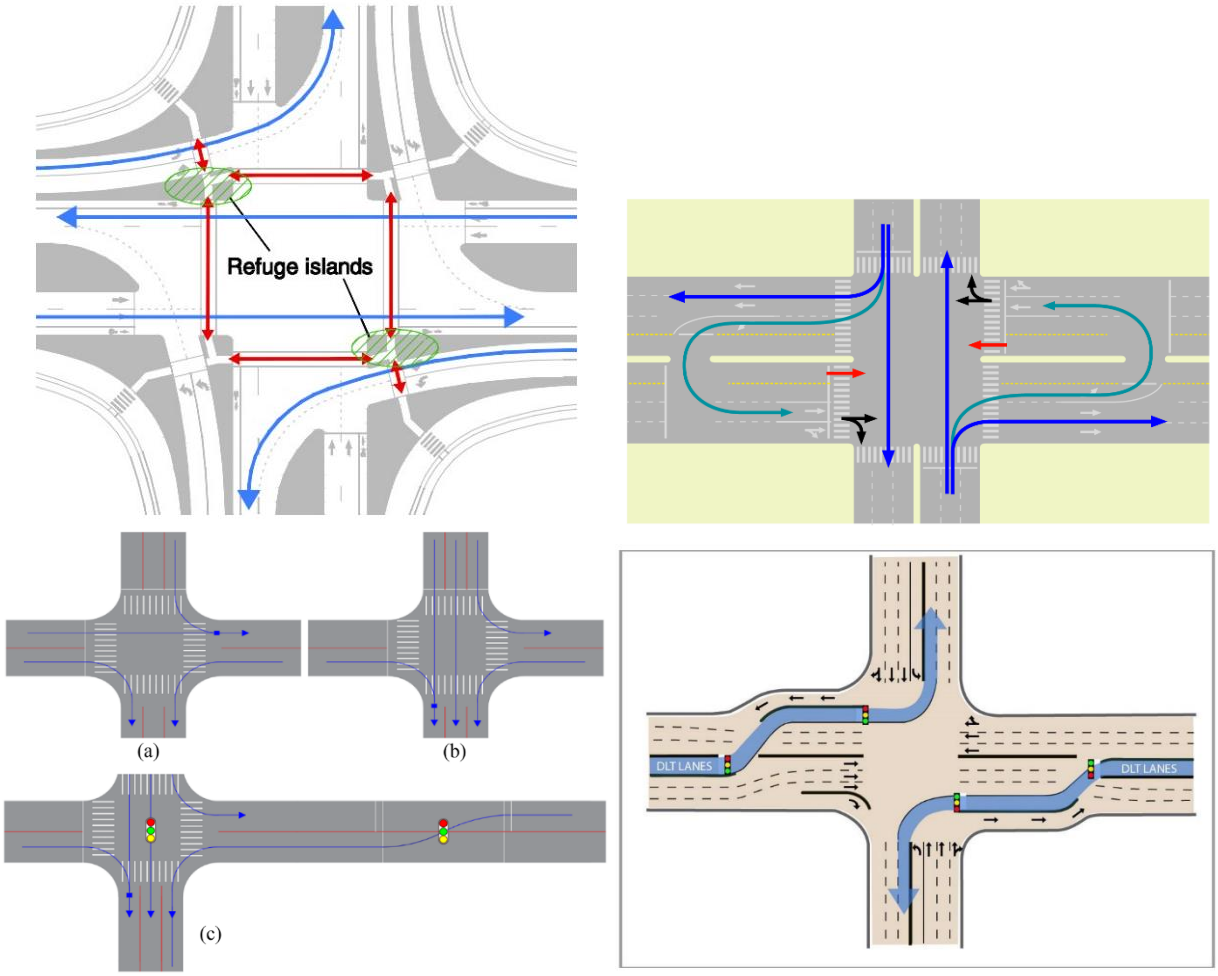


Рисунок 1 - Схемы, иллюстрирующие подходы к устранению левых поворотов на перекрестках

При рассмотрении вопроса проблемности дорог уделить внимание на сложность фаз светофора, где левые повороты часто требуют отдельной фазы (защищенной или разрешенной), что увеличивает продолжительность цикла и "мертвое" время — интервалы, когда движение отсутствует вообще [15,16], повышенную аварийность (если брать мировую статистику примерно 61 % всех ДТП на перекрёстках связаны с левыми поворотами, включая серьезные инциденты [3]), также незначительное удлинение маршрута, а именно ограничения левых поворотов могут требовать сделать три правых вместо одного левого, но в сетях с регулярной планировкой удлинение составляет в среднем лишь один квартал [3, 17].

Для решение имеются следующие практические рекомендации:

- **полный запрет левых поворотов** - упрощение фаз светофора, повышение пропускной способности, уменьшение конфликтов и безопасность пешеходов за счет него. Эффективен при умеренной загрузке трассы, но менее при слишком низких или высоких нагрузках [1].

- **селективный запрет (вариабельный подход)** - позволяет избежать излишнего увеличения маршрута, запрещаются левые повороты только на загруженных перекрестках в центре города, где сетка регулярная и альтернативы часты, ограничения особенно эффективны [6]; допускаются на периферии или при низком трафике [1,2]. Такие ограничения дают водителям маршруты с минимальным удлинением, но с большим выигрышем во времени [6].

- **альтернативные схемы движения:**

- "Michigan Left" — правый поворот + U-поворот после перекрёстка; снижает задержки и сохраняет пропускную способность [4, 18].
- Displaced Left-Turn (DLT) / Continuous-Flow Intersection (CFI) — попеременные левые выносятся вперёд или в бок, чтобы снизить конфликты и удвоить эффективность [5].

Используя возможностей симуляции движения транспортных средств в Тегеране по итогам удаления левого поворота выявлено снижение коэффициента нагрузки (volume-to-capacity) до ~0.90, задержки — на 65 %, очереди — на 48 %; средняя скорость выросла с 24.5 до 37.8 км/ч; расстояние возросло на 22 %, но время в пути сократилось на 82.9 % [4]. В результате сохранится баланс между эффективностью и безопасностью, т.е. сокращение фаз светофора повышает пропускную способность (макроскопические модели демонстрируют рост максимальной скорости выполнения поездок) [1].

В рамках статьи были анализированы международные исследования и примеры. Викаш Гайах показал, что запрет левых поворотов увеличивает максимальную пропускную способность сети, особенно при умеренном трафике; однако в условиях очень низкой или чрезмерной загруженности эффект может снижаться. Автор предлагает динамическую стратегию: разрешать левые повороты при низкой/очень высокой загрузке и запрещать при умеренной перегрузке [1]. Он в статье используют эвристические алгоритмы для оптимального выявления пересечений, где запрет левых поворотов приносит наибольшую пользу: чаще всего — центральные с высоким потоком [19], и отметил, что запрет левых поворотов на busiest перекрёстках города может снизить время поездки в среднем на 12–15 % и повлиять на выбросы углекислого газа [3,20,21]. Опыт ограничения или запрета левых поворотов на отдельных участках уже внедряются в городах Сан-Франциско (исследование визуальных и инженерных мер для успокоения левого поворота: применение маячков, расширенных разметок, узких канав и образовательной кампании. Результаты: средняя скорость при левом повороте снизилась на ~17 %, снижение количества опасных маневров на скорости свыше 15 mph на 71 % [22,23], Солт-Лейк-Сити, Тусон (запрет левых поворотов в деловых районах значительно сокращает задержки и повышает безопасность, не требуя больших затрат на инфраструктуру [24]) и др. [3,25]).

В городах Европы, как Лондоне, Париж, активно внедряются транспортные схемы с ограничением левых поворотов в исторических центрах, что повышает среднюю скорость движения и снижает загруженность перекрёстков.

В Пекине и Дели запрет левых поворотов используется на магистралях с высокой интенсивностью (> 4000 авт./ч), что способствует увеличению пропускной способности на 15–20%.

С 2004 года UPS **(United Parcel Service)** уменьшила количество левых поворотов в маршрутах доставки. Итоги: экономия ≈ 10 млн галлонов топлива, сокращение выбросов CO_2 на 20 000 тонн и дополнительно 350 000 доставленных посылок ежегодно [3,26].

Молодые исследователи **Brigham Young University Schultz, Saito и др.** исследовали применение средних медиан на дорогах с левыми поворотами. Программы симуляции показали, что замена двусторонних левых полос (для поворота) на физические разделители (медианы) снижает число конфликтов водителей на 32–50 % [27].

В международных инфраструктурных решениях упоминаются **Superstreet (Restricted Crossing U-Turn, RCUT)** — дизайн пересечений, исключающий левые повороты прямо через перекрёсток. Исследования показывают сокращение времени проезда на ~20 %, снижение аварий на 46 %, тяжких травм — на 63 % [28]. **Continuous-Flow Intersection (CFI) / Displaced Left-Turn (DLT)** - исследование Hu и др. (2024) показало, что при управлении потоками на основе CFI средняя задержка снижена на 17 %, длина очередей — на 32 % [5].

В табл. 1 приведены яркие примеры и исследования по полной или частичной отмене левого поворота на перекрестках.

Таблица 1. - Примеры и исследования по полной или частичной отмене левого поворота на перекрестках

Источник / Автор	**Регион / Страна**	**Положительные эффекты**	**Отрицательные эффекты / Ограничения**
Gayah et al. (Penn State)	Мировые идеализированные сети	+ Пропускная способность, − время поездки (~15 %), гибкость стратегии	− Эффект слаб при низком / высоком трафике
Bayrak & Gayah (2021)	Сети городов	+ Оптимизация запрета в местах с высокой нагрузкой	– Требуется сложный анализ / модели
UPS	США (логистика)	+ Экологичность, экономия топлива, эффективность маршрутов	– Не городской контекст, коммерческие маршруты
Schultz, Saito (BYU)	США (дороги)	+ Снижение конфликтов на 32–50 %	– Применимо для дорог с медианой, не для всех сеток
San Francisco (SFMTA + BIT)	США (СФ)	+ Снижение скорости, снижение опасных маневров, безопасность	– Местные меры, повсеместный запрет не обсуждается
WSJ / Gayah	США и глобальные примеры	+ Быстрый эффект, низкие затраты, улучшения времени и безопасности	– Может упростить модель, требует адаптации
Superstreet / RCUT	США (инфраструктурно)	+ Эффективность и безопасность через дизайн	– Требует пространства и капитальных изменений
CFI / DLT (Hu et al.)	Моделирование / инфраструктура	+ Значительно меньше задержки и очередей	– Дорогостоящая инфраструктура

Методы исследования

Для проведения исследований нам необходимо определить некоторые важные коэффициенты.

Коэффициент φ — это **коэффициент эффективности движения на перекрёстке**, учитывающий влияние отдельных маневров (левый, правый, прямой) на пропускную способность. Его значение отражает, насколько реально поток автомобилей используется с учётом задержек, конфликтов и организации движения. Этот коэффициент можно определить несколькими путями:

1. По нормативам и справочникам - используются данные **HCM (Highway Capacity Manual, 2016)** или отечественные методики (Хворост, Зырянов), где для разных схем перекрестков и типов полос приведены типовые коэффициенты:

- Без левых поворотов: φ≈0,85–0,9
- С левыми поворотами: φ≈0,6–0,7
- С выделенными полосами для левых: φ≈0,75–0,8

2. Расчёт по долям потоков - определение через структуру движения на перекрёстке:

$$\varphi = 1 - \sum_i k_i \cdot d_i \qquad (1)$$

где, i — тип маневра (левый, правый, прямо); k_i — коэффициент «снижения эффективности» для маневра (например, левый = 0,3, прямо = 0,0, правый = 0,1); d_i — доля автомобилей, выполняющих манёвр i.

Например, в потоке 60% ТС двигаются прямо, 25% - налево, а 15% направо, то коэффициент эффективности движения на перекрёстке будет:

$$\varphi=1-(0{,}25\cdot0{,}3+0{,}15\cdot0{,}1)=1-(0{,}075+0{,}015)=0{,}91$$

3. Эмпирические измерения с измерением реальной скорости потока и задержку на перекрёстке.

φ=реальная пропускная способность/теоретическая без ограничений

Тип перекрестка / организация движения	**Прямой поток**	**Левый поворот**	**Правый поворот**	**Примечания**
Регулируемый перекрёсток, без выделенных полос	1,0	0,65–0,70	0,85–0,90	Левые маневры создают максимальные задержки
Регулируемый перекрёсток, выделенная полоса для левого поворота	1,0	0,75–0,80	0,85–0,90	Уменьшение конфликта с основным потоком
Регулируемый перекрёсток, запрет левых поворотов	1,0	—	0,85–0,90	Коэффициент для левоповоротного потока = 0 (нет маневра)
Нерегулируемый перекрёсток, с круговым движением	0,9–0,95	0,8–0,85	0,9	Коэффициенты ниже из-за ограничения скорости и конфликтов
Многоуровневая развязка	0,95–1,0	0,95–1,0	0,95–1,0	Почти полная эффективность, задержки минимальны

Применение:

1. Определяется **структура движения** на перекрёстке (доля автомобилей, выполняющих каждый манёвр).
2. Подбирается φ для каждого маневра по таблице.
3. Рассчитывается **средневзвешенный коэффициент**:

$$\varphi_{\text{ср}} = \sum_i \varphi_i \cdot d_i \qquad (2)$$

где, d_i — доля потока для маневра i.

После определения φ, пропускная способность перекрёстка вычисляется по формуле.

$$Q = \frac{N \cdot 3600}{t_c} \cdot \varphi \qquad (3)$$

где, Q - пропускная способность (авт./ч); N - число полос движения; t_c - цикл светофорного регулирования (с); φ - коэффициент эффективности, учитывающий тип маневров.

Для перекрёстка с левыми поворотами коэффициент эффективности $\varphi\approx0{,}65$, а при исключении левых поворотов $\varphi\approx0{,}85$.

Например, если нам дана трёхполосная дорога (N=3) и цикл tc=90 сек, то

- при левом повороте: Q=(3·3600/90)·0,65=7800 авт./ч
- без левого поворота: Q=(3·3600/90)·0,85=10 200 авт./ч

Таким образом, исключение левых поворотов даёт **прирост пропускной способности на ~30%**.

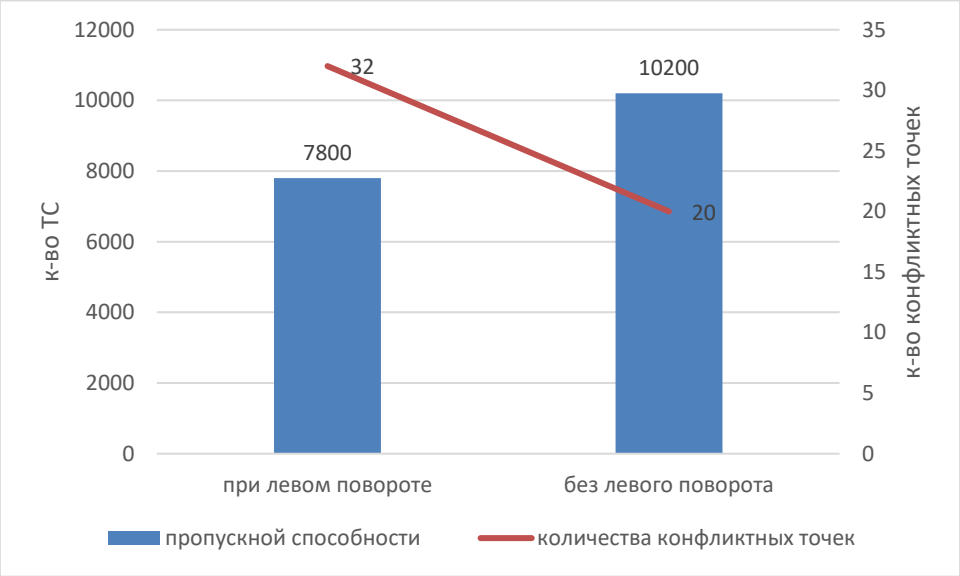


Рисунок 2 – График зависимости пропускной способности и количества конфликтных точек от наличия/отсутствия левого поворота

Другим методом исключения левого поворота на перекрестках является принятие решение на основании **комплексной оценки транспортной ситуации** (табл.2). Основные критерии можно разделить на несколько групп:

1. Транспортно-интенсивностные критерии

Высокая интенсивность движения: если поток автомобилей на перекрёстке превышает 2000 авт./ч, левый поворот создает узкое место и снижает пропускную способность.

Неравномерное распределение потоков: левый поворот против основного потока создает большие задержки.

Доля грузового транспорта: для магистралей с большим количеством грузовиков левый поворот особенно критичен из-за медленной маневренности.

2. Безопасностные критерии

Количество конфликтных точек: левый поворот создает до 4-5 конфликтных точек, что повышает риск ДТП.

Статистика аварийности: если на перекрёстке наблюдается высокий процент ДТП с участием левых поворотов (>25–30% от общего числа), это аргумент к запрету.

Наличие пешеходных переходов: левый поворот пересекает пешеходные потоки, повышая риск столкновений.

3. Геометрические критерии

Ширина проезжей части и количество полос: при узких дорогах левый поворот создаёт заторы.

Наличие свободного места для разгона и торможения: если левый поворот требует остановки на основной полосе или сужает дорогу, его стоит исключить.

Ограничения видимости: если обзор на перекрёстке ограничен (строения, деревья, поворот дороги), левый поворот небезопасен.

4. Организационно-транспортные критерии

Возможность альтернативного маршрута: если есть разворот или объезд через соседний перекрёсток, левый поворот можно исключить без серьезных неудобств.

Влияние на общественный транспорт: запрет должен учитывать возможность выделенных полос и маршрутов автобусов.

Схема движения на прилегающих улицах: исключение левого поворота должно гармонизировать движение на всей сети, а не создавать новые пробки.

5. Экономические и социальные критерии

Снижение затрат на регулирование: меньше светофорных фаз = меньше энергии, меньше задержек.
Снижение времени поездки для большинства водителей: запрет оправдан, если среднее время поездки уменьшается для основного потока.
Поддержка устойчивого транспорта: освобождение полос для общественного транспорта и велосипедов.

Таблица 2. - Таблица критериев с бальной системой (для принятия решения о запрете левого поворота на перекрёстке)

Группа критериев	Конкретный показатель	Баллы (0–3)	Комментарий
Транспортная нагрузка	Интенсивность движения на перекрёстке	0 – <500 авт./ч 1 – 500–1000 2 – 1000–2000 3 – >2000	Чем выше поток, тем выше риск заторов при левом повороте
	Доля левоповоротного потока	0 – <10% 1 – 10–20% 2 – 20–30% 3 – >30%	Высокий процент левых поворотов ухудшает пропускную способность
Безопасность	Количество ДТП с левыми поворотами	0 – нет 1 – 1–2 в год 2 – 3–5 3 – >5	Указывает на опасность маневра
	Наличие пешеходных потоков	0 – нет 1 – мало 2 – среднее 3 – интенсивное	Левые повороты пересекают пешеходные потоки
Геометрия	Ширина перекрестка и полос	0 – ≥4 полосы/широкий 1 – 3 полосы 2 – 2 полосы 3 – узкий	Узкая дорога повышает риск заторов и аварий
	Ограниченная видимость	0 – свободная 1 – небольшие препятствия 2 – средние 3 – сильные	Плохой обзор повышает опасность левого поворота
Альтернативы движения	Возможность объезда или разворота	0 – нет альтернатив 1 – неудобная 2 – средняя 3 – удобная	Чем проще объезд, тем легче запретить левый поворот
Влияние на общественный транспорт	Снижение эффективности движения автобусов	0 – нет 1 – незначительно 2 – средне 3 – значительно	Запрет должен учитывать выделенные полосы и маршруты
Социально-экономические	Сокращение времени поездки основного потока	0 – нет 1 – <5% 2 – 5–10% 3 – >10%	Прирост времени движения учитывается при принятии решения
	Снижение эксплуатационных затрат	0 – нет 1 – мало 2 – средне 3 – высоко	Меньше светофорных фаз = экономия энергии и времени

По итогам исследования получив сумму баллов можно сделать определенные выводы:

- Сумма баллов ≤10: запрет левого поворота нецелесообразен.
- Сумма баллов 11–18: запрет возможен частично или с дополнительными мерами (например, разворот через соседний перекрёсток).
- Сумма баллов >18: запрет левого поворота оправдан и эффективен.

Выводы. Мировая практика показывает, что исключение левых поворотов на перекрестках имеет преимущества, как эффективная мера повышения пропускной способности, значительное снижение аварийности, экономия топлива и снижение выбросов (как показывает опыт UPS), относительно низкая стоимость — особенно при запрещении вместо комплексных инфраструктурных решений.

Также необходимо отметить, что неправильный выбор места внедрения (в сетях с низкой нагрузкой или имеется другая альтернатива решения), значительная перенастройка маршрутов, который может привести к удлинённой поездке и без общественной поддержки и организационных усилий может привести к провалу предлагаемого решения.

Подытоживая, можно прийти к выводу, что по опыту других крупных городов, внедрение схем без левых поворотов может стать оптимальным решением для г.Бишкек при ограниченных возможностях строительства многоуровневых развязок.

Список литературы

1. Gayah et al., "Improving Urban Street Network Efficiency by Prohibiting Conflicting Left Turns…" (journals.sagepub.com)

2. Penn State study on banning left turns for traffic flow (psu.edu, ScienceDaily)

3. Статистика аварийности при левых поворотах (snopes.com, theconversation.com)

4. Опыт Тегерана: правый + U-поворот вместо левого (file.scirp.org)

5. Альтернативные схемы CFI / DLT (arxiv.org)

6. Дискуссии сообщества и примеры реальной практики (Reddit)

7. К.Исаков, К.Арыкбаев, А.Алтыбаев, А.Татанова, Э.Элтуйбасова. Анализ и рекомендации для увеличения пропускной способности улиц г.Бишкек. Известия КГТУ им.И.Раззакова, №2(74). -Б., 2025. С.475-480. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82449372

8. К.Исаков, А.Алтыбаев, А.Чопоев, А.Абдилова. Выявление закономерности потребностей количества полос движения на пересечениях улиц г. Бишкек. Известия КГТУ им.И.Раззакова, №2(70). – Б., 2024. С.629-635. https://elibrary.ru/item.asp?id=68019570

9. Микросхема DLT – визуальные примеры

10. Webster F.V. Traffic Signal Settings. – London: HMSO, 1958.

11. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual (HCM 2016). – Washington, D.C., 2016.

12. Зырянов В.В. Организация дорожного движения. – М.: Транспорт, 2014.

13. Хворост Г.С. Пропускная способность городских улиц и дорог. – М.: Стройиздат, 1982.

14. Michigan Department of Transportation. Safety and Operational Effects of Michigan Left Turns. – MDOT Report, 2018.

15. https://www.wsj.com/business/logistics/left-turn-dangers-city-streets-4cbde78f

16. https://www.sciencealert.com/cities-are-stopping-you-from-turning-left-heres-why

17. https://www.sciencetimes.com/articles/31582/20210607/eliminating-left-turns-will-make-city-driving-safer-save-fuel.htm

18. https://news.byu.edu/news/byu-traffic-study-no-more-left-turns-busy-streets

19. https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/03611981211011647

20. https://www.washingtonpost.com/opinions/2024/06/24/ban-left-turns/

21. https://finance-commerce.com/2021/06/removing-left-turns-could-improve-traffic-safety/