https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.245

УДК 625.7

Неізвестний С. В., *https://orcid.org/0000-0002-8888-313X*

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДУ ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

Анотація

Вступ. Одною з причин призначення проведення реконструкції дороги або її частини є погіршення безпеки руху транспортних потоків, в результаті чого, збільшується кількість жертв та матеріальні втрати при дорожньо-транспортних подіях (ДТП). Найбільший вплив на інтенсивність руху на автомобільній дорозі мають транспортні розв'язки в одному рівні, оскільки на них виконується перерозподіл транспортних потоків. Залежності від інтенсивності руху на них буде визначатися і максимальна можлива інтенсивність руху ділянкою автомобільної дороги в цілому.

Проблематика. Аналіз призначення необхідності проведення реконструкції автомобільних доріг згідно нормативів, встановив необхідність в обґрунтуванні та уточненні даних інтенсивності руху, згідно яких необхідно призначати реконструкцію автомобільної дороги та визначати період її ефективного функціонування, для цього необхідно провести ряд досліджень транспортного потоку.

Мета. Метою статті є дослідження закономірностей руху транспортних потоків на транспортних розв'язках в одному рівні та зв'язок характеристик транспортних потоків між собою.

Методологія експериментального дослідження закономірностей руху транспортних потоків на транспортних розв'язках в одному рівні полягає в обстеженні реальних умов транспортних потоків, а саме інтервалів руху між автомобілями на ділянках перегонів між розв'язками з інтенсивністю руху від 300 авт/год до 600 авт/год на одну смугу, для подальшого встановлення залежності наявності та кількості вільних інтервалів руху в транспортному потоці.

Результати. У статті представлено алгоритм визначення максимально можливої інтенсивності руху на автомобільній дорозі (на окремих її ділянках) між суміжними перехрещеннями та примиканнями з урахуванням реального розподілу інтенсивності руху на них, що дає можливість прогнозувати ефективність функціонування окремої ділянки автомобільної дороги та приймати рішення про повну або вибіркову реконструкцію автомобільної дороги або реконструкцію транспортної розв'язки.

Висновки. Встановлено головну умову ефективного функціонування транспортних розв'язок в одному рівні та автомобільної дороги в цілому, це наявність вільних інтервалів руху на головній дорозі, що дає можливість виконувати маневри правого та лівого поворотів при проїзді транспортних розв'язок в одному рівні без ускладнень руху.

Ключові слова: автомобільна дорога, вільний інтервал руху, інтенсивність руху, реконструкція, транспортна розв'язка, транспортні потоки.

Вступ

У результаті зростання значення дороги виникає необхідність в підвищенні нормативних вимог до автомобільної дороги. Для цього необхідно перебудовами повністю або частково дорогу. На основі розрахунків перспективної інтенсивності руху, а також на основі спостережень

за швидкістю руху та складом руху і з урахуванням кількості та тяжкості ДТП проводяться техніко-економічні дослідження щодо обґрунтування необхідності проведення реконструкції автомобільної дороги [1, 2]. Також одною з причин реконструкції дороги може бути різке погіршення екологічного стану придорожньої смуги. Реконструкція дороги вимагає комплексне покращення всіх її елементів, але недоцільно перебудовувати під час реконструкції всі елементи відповідно до вимог технічних умов для проєктування нових доріг. Перебудовують здебільшого лише ділянки з високою аварійністю або ділянки з недостатньою пропускною здатністю. Це спонукає до вирішення таких проблем як: підвищення пропускної здатності дороги, покращення безпеки руху, зменшення забруднення навколишнього середовища, економія пального, раціонального використання ресурсів та покращення комфортності руху по дорозі в рамках розробки проєкту реконструкції дороги [3].

Основна частина

При техніко-економічному обґрунтуванні реконструкції автомобільної дороги або окремих її ділянок використовується значення розрахункової перспективної інтенсивності руху [4]. Водночас, як свідчать дослідження [5, 6], вагомим чинником, який впливає на інтенсивність руху автомобільною дорогою є наявність перехрещень і примикань. Залежно від інтенсивності руху на перехрещеннях чи примиканнях буде визначатися і максимальна інтенсивність руху ділянкою автомобільної дороги в цілому.

Інтенсивність руху на перехрещеннях і примиканнях залежить від багатьох чинників: категорії доріг, що перетинаються або примикають, складу транспортних потоків, середніх швидкостей руху, маневрів автомобілів, погодних умов та частки автомобілів, які виконують повороти ліворуч та праворуч тощо [7].

Сумісний вплив усіх факторів, що діють на транспортний потік, і які весь час змінюються в просторі і часі, значно ускладнює розуміння закономірностей руху транспортних потоків на транспортних розв’язках та зв’язок характеристик транспортних потоків між собою.

Дослідженнями транспортних потоків займалися Сильянов В.В., Дрю Д., Лобанов Є.М., Фішельсон М.С., Черепанов В.А., Капітанов В.Т., Хілажов Є.Б., Трибунський В.М., Буслаєв А.П., Приходько В.М., Таташев А.Г., Новіков А.В., Яшин М.В. та ін. У теперішній час розроблено ряд моделей для описи руху автомобілів по багатосмугових автомобільним дорогам [8], але жодна модель не дозволяє описувати потік будь-якої інтенсивності руху та в різних дорожніх умовах. Існуючі методи визначення практичної пропускної здатності смуги руху, інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги, без утруднень руху дають неоднозначні результати, що потребує їх удосконалення.

Для визначення впливу перехрещень і примикань на інтенсивність руху на автомобільній дорозі або її ділянці необхідно встановити інтенсивність руху на них, для цього необхідно виконати аналіз розподілу транспортних потоків по всіх напрямках руху.

Умови руху по перехрещеннях та примиканнях автомобільних доріг в одному рівні для автомобілів, що прямують за прямими напрямами, значно ускладняються перешкодами, які створюються маневрами повороту окремих автомобілів. Чим вище щільність та інтенсивність руху по дорогах, що перетинаються, і чим більша частка автомобілів, що здійснюють маневри правого і особливо лівого поворотів, тим вище небезпека виникнення дорожньо-транспортних подій.

Основними параметрами для визначення максимально можливої інтенсивності руху на перехрещеннях і примиканнях є необхідний час для виконання маневру автомобілем, швидкість руху, розподіл часових інтервалів руху між одиночними та групами автомобілів із забезпеченням безперешкодного руху.

Головною умовою ефективного функціонування транспортних розв'язок в одному рівні та автомобільної дороги в цілому, можливо тільки при наявності вільних інтервалів руху на головній дорозі, що дає можливість виконувати маневри правого та лівого поворотів без ускладнень руху.

Границею ефективного функціонування окремої ділянки автомобільної дороги є момент, коли збільшення інтенсивності руху визиває зменшення швидкості руху. Критичною величиною є колонний рух автомобілів зі швидкістю вільного руху (20–25) км/год [8].

Під вільним інтервалом руху мається на увазі часовий інтервал руху між автомобілями або групами автомобілів, який забезпечує виконання маневру без затримок і взаємодії з іншими транспортними засобами з бажаною середньою швидкістю руху.

Для використання запропонованої методики розрахунку максимально можливої інтенсивності руху, при якій буде забезпечений безперешкодний рух потрібно мати наступну вихідну інформацію про:

1) категорію ділянки дороги між суміжними перехрещеннями та примиканнями;
2) план дороги;
3) розподіл транспортних потоків по напрямках руху на великих транспортних розв'язках;
4) склад транспортного потоку;
5) інтенсивність та швидкість руху.

Далі необхідно визначити вплив перехрещень та примикань на інтенсивність руху ділянки автомобільної дороги між розв'язками, для цього необхідно виконати аналіз розподілу транспортних потоків по всіх напрямках руху.

Наявність транспортних розв'язок на автомобільних дорогах та постійне зростання кількості автомобілів призводять до зростання щільності та інтенсивності транспортних потоків. На транспортних розв'язках з великою інтенсивності руху, переважно, відповідає груповий режим руху транспортних засобів, тому необхідно визначити залежність часового інтервалу руху між транспортними засобами та часового інтервалу між групами автомобілів від годинної інтенсивності руху.

Максимальне значення інтенсивності руху смугою автомобільної дороги, при якій забезпечений безперешкодний рух і буде відповідати інтенсивності руху, на основі якої оцінюється робота дороги до моменту її реконструкції та визначається період ефективного функціонування автомобільної дороги.

Встановлення максимально можливої інтенсивності руху смугою автомобільної дороги, при якій забезпечений безперешкодний рух транспортних засобів виконується в такій послідовності:

1. Виконують аналіз наявної вихідної інформації щодо інтенсивності, середньої швидкості та складу транспортного потоку на автомобільній дорозі.

2. Виконують аналізування впливу великих перехрещень і примикань на інтенсивність руху автомобільною дорогою. Для цього необхідно встановити розподіл транспортних потоків по напрямках руху, тобто частку автомобілів, що здійснюють маневри правого і лівого поворотів.

3. Встановлюють наявність і розраховують кількість вільних інтервалів руху між групами та одиночними автомобілями. Наявність вільних інтервалів руху дає можливість виконувати маневри правого та лівого поворотів без ускладнень руху і визначається із залежності часового інтервалу між групами та одиночними транспортними засобами.

Для встановлення наявності та кількості вільних інтервалів руху в транспортному потоці було виконано експериментальне дослідження залежності часового інтервалу руху від питомої інтенсивності руху [9, 10].

Для вивчення та визначення діапазону зміни часового інтервалу руху було проведено багатофакторний експеримент на основі натурних обстежень. У ході обстежень визначався розподіл інтервалів руху між автомобілями в транспортному потоці на дослідних ділянках

перегонів між простими нерегульованими розв'язками в одному рівні з інтенсивністю руху від 300 авт/год до 600 авт/год на одну смугу руху, також проводились вимірювання часових інтервалів між пакетами та між транспортними засобами в пакетах для подальшого встановлення залежності наявності та кількості вільних інтервалів руху в транспортному потоці [10]. Експеримент охопив діапазон умов руху у зоні простих нерегульованих перехресть, поданий у **табл. 1.**

Таблиця 1

Позначення та діапазон варіювання дорожньо-транспортних факторів, які впливають на часовий інтервал руху

Найменування фактора	Діапазон варіювання	Позначення
Інтенсивність руху на одну смугу руху, авт/год	300 – 600	N
Кількість смуг руху	2	n
Ширина смуги руху, м	3,75	b

Під час обстеження було виконано понад тисячу вимірів часового інтервалу руху та складу транспортного потоку, які використовувалися протягом шістдесяти хвилинного інтервалу часу. Для кожного інтервалу проводився підрахунок транспортних засобів, що проїхали смугою руху, зазначався тип кожного транспортного засобу. Відповідно до отриманих даних визначали часові інтервали руху та частку легкових, вантажних автомобілів, автобусів та автопотягів у потоці. Результати встановлення складу транспортного потоку наведені в **табл. 2.**

Таблиця 2

Склад транспортного потоку на дослідних ділянках

Транспортні засоби за типами	Кількість транспортних засобів за типами, % для різних досліджень				Бажана швидкість руху по типах транспортних засобів, км/год
	300	400	500	600	
Легкові автомобілі $L_{л.сер}$ = 4,5 м	61	65	58	60	60
Вантажні автомобілі $L_{в.сер}$ = 7 м	30	29	32	29	50
Автобуси $L_{ав.сер}$ = 10 м	2	1	3	2	50
Автопотяги $L_{ап.сер}$ = 12 м	7	5	7	9	45

На дослідних ділянках спостерігався змішаний режим руху, тобто певна частина транспортних засобів рухалися дискретно-неперервним потоком (тобто пакетами), а інші рухалися вільним потоком (**табл. 3**). Аналізуючи отримані дані, можна стверджувати, що на дослідних ділянках з годинною інтенсивність по смузі руху від 400 авт/год до 600 авт/год наявний приблизно 40 % зв'язаний рух. Для годинної інтенсивності руху 300 авт/год переважає вільний рух (80,7 %).

Таблиця 3

Показники кількості транспортних засобів в різних режимах руху

Годинна інтенсивність руху, авт/год	Кількість транспортних засобів різних режимів руху			
	в пакеті, авт/год	одиночних, авт/год	в пакеті, %	одиночних, %
300	58	242	19,3	80,7
400	137	263	34,3	65,7
500	196	304	39,2	60,8
600	251	349	41,8	58,2

В якості показника часового інтервалу руху було вибрано середнє лінійне відхилення часових інтервалів руху, які спостерігалися протягом шістдесяти хвилин від середнього часового інтервалу руху [11, 12].

За результатами експериментальних досліджень, була отримана двофакторна залежність кількості транспортних засобів заданого інтервалу руху від часового інтервалу між транспортними засобами [11, 12]:

$$n_i = (-0,8843N^2 + 901,26N - 180013)t_{\text{д}i}^{(2\cdot 10^{-5}N^2 - 0,0142N + 0,1836)}, \quad (1)$$

де N — годинна інтенсивність по одній смузі руху, авт/год;

$t_д$ — часовий інтервал між транспортними засобами, с.

Наявність і кількість вільних інтервалів руху на основній дорозі визначається як сума інтервалів руху достатніх для виконання правого та лівого поворотів при проїзді транспортної розв'язки. Достатніми інтервалами руху для виконання лівого та правого повороту без ускладнень руху, згідно досліджень транспортного потоку [8], вважатимуться такі інтервали руху: для виконання маневру правого повороту $t_{пр}$ = (4–7) с, для маневру лівого повороту $t_л$ = (10–13) с, для проїзду прямо $t_{пд}$ = (6–8) с. Отже, наявність та кількість вільних інтервалів руху на основній дорозі буде визначатися за площею кривої розподілу інтервалів руху $t_д$ для різної інтенсивності руху N на заданому проміжку інтервалів руху (у роботі [15; 30] — границі величин достатніх інтервалів руху для виконання маневрів на транспортній розв'язці, з урахуванням мінімального безпечного інтервалу руху між транспортними засобами).

Враховуючи це, площа криволінійної трапеції (**рис. 1**) визначається як визначений невласний інтеграл функції другого роду:

$$S = \int_a^b f(x)dx. \quad (2)$$

Враховуючи властивості визначеного інтеграла та залежність кількості транспортних засобів заданого інтервалу руху від часового інтервалу між транспортними засобами (2), маємо наступний вигляд інтеграла:

$$n_{\text{В}} = k\int_{t_i}^{t_{i+j}} t_{\text{Д}}^{-a}dx = k\int_{t_i}^{t_{i+j}} \frac{1}{t_{\text{Д}}^{a}}dx; \quad (3)$$

$$n_{\text{В}} = (-0,8843N^2 + 901,26N - 180013)\int_{t_i}^{t_{i+j}} t_{\text{Д}}^{2\cdot 10^{-5}N^2 - 0,0142N + 0,1836} dx, \quad (4)$$

де t_i та t_{i+j} — інтервал руху достатній для виконання маневрів правого та лівого поворотів без ускладнень руху, с.

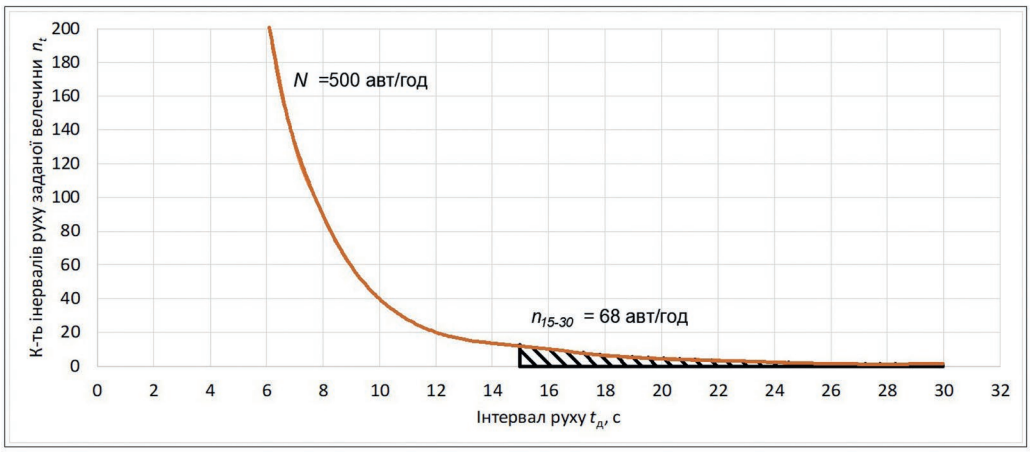

Рисунок 1 — Графік визначення площі кривої розподілу інтервалів руху для годинної інтенсивності $N_{\text{факт}}$ = 500 авт/год по одній смузі руху

Незважаючи на те, що розглянута модель має недостатню інформативність її можна рекомендувати до використання за відсутності статистичних даних про інші фактори, що впливають на транспортний потік.

4. На основі аналізу отриманої максимально можливої інтенсивності руху, при якій забезпечується безперешкодний проїзд і фактичної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги між великими перехрещеннями та примиканнями виконується оцінка роботи розв'язки та ділянки дороги до моменту їх реконструкції:

$$N_{\text{факт}} \le N_{\max}. \quad (5)$$

При прогнозуванні збільшення інтенсивності руху по головній дорозі та на розв'язці і буде визначатися період ефективного функціонування ділянки автомобільної дороги.

Висновки

Враховуючи вище зазначене, можна зробити висновок, що головною умовою ефективного функціонування автомобільної дороги, а також транспортної розв'язки, є наявність достатніх часових інтервалів руху для виконання маневрів правого та лівого поворотів без ускладнень руху.

Максимальне значення інтенсивності руху смугою автомобільної дороги, при якій забезпечений безперешкодний рух буде відповідати інтенсивності руху, на основі якої необхідно оцінювати роботу дороги до моменту її реконструкції. Отже, прогнозоване збільшення інтенсивності руху по головній дорозі і буде визначати період ефективного функціонування ділянки автомобільної дороги. На основі цих даних можливо приймати рішення щодо повної або вибіркової реконструкції автомобільної дороги або реконструкції транспортної розв'язки.

Список літератури

1. Сильянов В.В., Лобанов Е.М., Ситников Ю.М. Сапегин Л.Н. Пропускная способность автомобильных дорог. М. 1972. 152 с.
2. Лобанов Е.М., Сильянов В.В. и др. Пропускная способность автомомбильных дорог. М. 1970. 150 с.
3. Хом'як Я.В. Транспортно-експлуатаційні якості автомобільних доріг і безпека руху : навч. посібник. Київ, 1980. 168 с.
4. ДБН В.2.3-4:2015. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. С. 113. (Іформація та документація).
5. Пальчик А.М. Транспортні потоки. Київ. 2010. 182 с.
6. Поліщук В.П., Дзюба О.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху : навч. посіб. Київ, 2008. 269 с.
7. Білятинський О.А., Старовойда В.П., Хом'як Я.В. Проектування автомобільних доріг. Частина ІІ : підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] Київ. 1998. 415 с.
8. Сильянов В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. Москва. 1977. 303 с.
9. Гецович Е. М., Семченко Н. А. Методика экспериментального определения распределения параметров транспортных потоков. *Восточноевропейский журнал передовых технологий*. Харків, 2011. №6/2(54). С. 67–68.
10. Гецович, Е. М., Семченко Н. А., Голота В. А. Экспериментальные исследования распределения временных интервалов в транспортном потоке. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. Харків, 2012. №2/3(56). С. 57–61.
11. Дрогомирецька Х. Т. Теорія ймовірностей та математична статистика : навч. посіб. Львів, 2019. 415 с.
12. Медведєв. М. Г. Теорія ймовірностей та математична статистика : підручник. Київ. 2008. 536 с.

References

1. Sylianov V.V., Lobanov E.M., Sytnykov Yu.M. Sapehyn L.N. Propusknaia sposobnost avtomobylnykh doroh [Road capacity]. Moscow. 1972. 152 p. [in Russian].
2. Lobanov E.M., Sylianov V.V. and other. Propusknaya sposobnost avtomombilnykh doroh [Road capacity]. Moskow. 1970. 150 p. [in Russian].
3. Khomyiak Ya.V. Transportno-ekspluatatsiini yakosti avtomobilnykh dorih i bezpeka rukhu [Transport and operational qualities of highways and traffic safety]. Manual. Kyiv, 1980. 168 p. [in Ukrainian].
4. DBN V.2.3-4:2015. Sporudy transportu. Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo [Transport facilities. Automobile roads. Part I. Design. Part II. Construction]. Kyiv, 2015. 113 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
5. Palchyk A.M. Transportni potoky [Traffic flows]. Kyiv, 2010. 182 p. [in Ukrainian].
6. Polishchuk V.P., Dziuba O.P. Teoriia transportnoho potoku: metody ta modeli orhanizatsii dorozhnoho rukhu [Theory of traffic flow: methods and models of traffic organization]. Manual. Kyiv, 2008. 269 p. [in Ukrainian].
7. Biliatynskyi O.A., Starovoida V.P., Khomyiak Ya.V. Proektuvannia avtomobilnykh dorih. Chastyna II [Highway design. Part II: tutorial]. Kyiv. 1998. 415 p. [in Ukrainian].
8. Sylianov V. V. Teoryia transportnykh potokov v proektyrovanyy doroh y orhanyzatsyi dvyzhenyia [Theory of traffic flows in road design and traffic organization]. Moscow. 1977. 303 p. [in Russian].

9. Hetsovych E. M., Semchenko N. A. Metodyka eksperymentalnoho opredelenyia raspredelenyia parametrov transportnykh potokov [Methods of experimental determination of the distribution of transport flow parameters]. *Vostochnoevropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnolohyi*. Kharkiv, 2011. №6/2(54). P. 67–68 [in Ukrainian].

10. Hetsovych, E. M., Semchenko N. A., Holota V. A. Eksperymentalnye issledovanyia raspredelenyia vremennykh intervalov v transportnom potoke [Experimental studies of the distribution of time intervals in the traffic flow]. *Vostochno-evropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnolohyi*. Kharkiv, 2012. №2/3(56). P. 57–61 [in Ukrainian].

11. Drohomyretska Kh. T. Teoriia ymovirnostei ta matematychna statystyka [Probability theory and mathematical statistics]. Lviv, 2019. 415 p. [in Ukrainian].

12. Medvediev. M. H. Teoriia imovirnostei ta matematychna statystyka [Probability theory and mathematical statistics: a textbook]. Kyiv. 2008. 536 p. [in Ukrainian].

Serhii Neizvestnyi, *https://orcid.org/0000-0002-8888-313X*

M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

DETERMINATION OF THE PERIOD OF EFFICIENT FUNCTIONING OF A ROAD

Abstract

Introduction. One of the reasons for ordering the reconstruction of a road or part of it is the deterioration of the safety of traffic flows, as a result of which the number of victims and material losses in road traffic accidents (traffic accidents) increases. Interchanges at the same level have the greatest influence on the traffic intensity on the highway, as traffic flows are redistributed at them. Depending on the intensity of traffic on them, the maximum possible intensity of traffic on the road section as a whole will be determined.

Problem statement. The analysis of determining the need for road reconstruction in accordance with the regulations established the need to justify and clarify traffic intensity data, according to which it is necessary to assign a road reconstruction and determine the period of effective operation of the road, for this it is necessary to conduct a number of traffic flow studies.

Purpose. The purpose of the article is to study the patterns of traffic flows at traffic junctions at the same level and the relationship of the characteristics of traffic flows to each other.

The methodology of an experimental study of traffic flow patterns at traffic intersections at one level consists in surveying the real conditions of traffic flows, namely, the traffic intervals between cars on the sections of the race between the intersections with a traffic intensity of 300 to 600 vehicles per hour per lane, to further establish the dependence of the availability and number of free movement intervals in the traffic flow.

Results. The article presents an algorithm for determining the maximum possible intensity of traffic on a highway on its separate sections between adjacent intersections and junctions, taking into account the real distribution of traffic intensity on them, which makes it possible to predict the effectiveness of the functioning of a separate section of the highway and to make decisions about complete or selective reconstruction of the highway or the reconstruction of the traffic junction.

Conclusions. The main condition for the effective functioning of single-level traffic junctions and the highway as a whole has been established, which is the presence of free traffic intervals on the main road, which makes it possible to perform right and left turn maneuvers when passing through single-level traffic junctions without traffic complications.

Keywords: road, reconstruction, traffic interchange, traffic intensity, traffic flows, free traffic interval.