

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ДОДУХ КАТЕРИНА МИХАЙЛІВНА

УДК 625.711.1

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ МАКСИМАЛЬНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ НА ДВОСМУГОВИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших
авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ К. М. Додух

Науковий керівник –
Пальчик Анатолій Миколайович
кандидат технічних наук,
доцент

Ідентичність усіх примірників дисертації
Засвідчую
Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02
_____ В. І. Каськів

Київ – 2018

АНОТАЦІЯ

Додух К.М. Удосконалення методу розрахунку максимальної інтенсивності руху автомобільних доріг

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 «автомобільні шляхи та аеродроми» - Національний транспортний університет, Київ, 2018.

У сучасних умовах відновлення дорожньої мережі автомобільних доріг України та збільшення інтенсивності руху автомобілів постає необхідність визначення ефективності функціонування доріг та в подальшому проведення їх повної або часткової реконструкції. Для вирішення цієї задачі потрібно встановити максимальну інтенсивність руху на автомобільній дорозі або її ділянці, яка може обслуговуватись без зміни її геометричних параметрів

В результаті проведених дисертаційних досліджень була встановлена наукова новизна:

1. Визначено залежність максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги від середньої швидкості руху та складу транспортного потоку, що дає можливість встановити граничне значення інтенсивності руху без зміни геометричних параметрів автомобільної дороги.

2. Встановлено вплив перехресть і примикань на одному рівні на інтенсивність руху на двосмугових автомобільних дорогах, що дає можливість визначити максимальну інтенсивність руху не тільки на автомобільній дорозі, але і на окремих її ділянках між суміжними перехрещеннями і примиканнями.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні рекомендацій для визначення максимальної інтенсивності руху на автомобільних дорогах з урахуванням перехресть і примикань на одному рівні, які можуть застосовуватись в техніко-економічних обґрунтуваннях необхідності часткової або повної її реконструкції.

Розроблено методику підвищення продуктивності роботи автомобільної дороги за рахунок зміни параметрів автомобільної дороги.

Встановлена максимальна інтенсивність руху на автомобільній дорозі є значно більшою ніж визначається будівельними нормами, особливо це

стосується доріг III та IV категорій. Основним показником ефективності функціонування доріг є максимальна інтенсивність руху на автомобільній дорозі в конкретних дорожніх умовах. Визначення максимальної інтенсивності руху на автомобільних дорогах на даний час поділяється на:

- визначення максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі;
- визначення максимальної інтенсивності руху смугою руху автомобільної дороги у конкретних умовах.

Перший метод призначений для визначення максимальної інтенсивності руху автомобільної дороги на основі понижуючих коефіцієнтів теоретичної пропускної здатності. В цьому випадку значення пропускної здатності приймається від 2000 до 750 авт/год у різних країнах. Склад транспортного потоку визначається відсотком легкових або вантажних автомобілів. Ці методи враховують наявність перехрещень та примикань на автомобільній дорозі. У даному випадку не враховується розподіл інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях, що зменшує максимальну інтенсивність руху між сусідніми перехрещеннями та примиканнями. Розглянуті методи не можуть показати реальну можливу максимальну інтенсивність руху на автомобільній дорозі або на ділянці дороги між перехрещеннями та примиканнями, незважаючи на те, що чим більше автомобілів, які виконують маневри на них, тим більше вони зменшують максимальну інтенсивність руху на ділянці дороги.

У випадку збільшення інтенсивності руху автомобілів на головній дорозі збільшуються затримки автомобілів на перехрещеннях та примиканнях. Проведений аналіз вище приведенного методу визначення максимальної інтенсивності руху на автомобільних дорогах у ході дисертаційного дослідження показав їх недосконалість для вирішення поставленої задачі.

Другий метод визначення максимальної інтенсивності руху смугою руху автомобільної дороги у конкретних дорожніх умовах має два підходи:

- встановлення залежності «інтенсивність – швидкість» на основі моделей транспортного потоку;
- встановлення залежності «інтенсивність – швидкість» на основі проведених експериментальних досліджень.

Залежність «інтенсивність – швидкість» показує зміну інтенсивності руху при колонному режимі руху від середньої швидкості руху транспортного потоку смугою руху автомобільної дороги. Графік даної залежності змінюється від пропускної здатності до максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги при середній швидкості руху. Недоліком отриманих залежностей «інтенсивність – швидкість» є урахування складу транспортного потоку, який враховується частково або відсотком легкових автомобілів. Виходячи з цього ми маємо різні залежності та отримані результати значень максимальної інтенсивності руху. На основі проведеного аналізу визначено, що залежність «інтенсивність – швидкість» має систему рівнянь, які характеризуються зоною кореляції. При великій кількості різних типів автомобілів постає питання їх урахування:

- по типам;
- по групам;
- по середній довжині.

Урахування по типам автомобілів є недоцільним та нереальним в умовах поставленої задачі.

У даному випадку усі автомобілі поділяються на групи по довжині та призначенню: легкові, вантажні, автобуси та автопотяги.

В залежності від кількості автомобілів у групі визначається середня довжина автомобіля у даній групі.

Знаючи кількість автомобілів по групам визначається середня довжина автомобіля у транспортному потоці.

У ході дисертаційного дослідження встановлена кореляційна залежність «інтенсивність – швидкість», яка враховує інтенсивність руху, середню швидкість руху та середню довжину автомобіля у транспортному потоці, що дає можливість встановити значення максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги при будь-якому складі транспортного потоку.

Залежність «інтенсивність – швидкість» показує максимальну інтенсивність руху смугою автомобільної дороги. Вона використовується для визначення мінімального безпечного інтервалу між автомобілями. Збільшення

цієї інтенсивності руху приводить до зменшення середньої швидкості руху. Ця інтенсивність і є граничною для конкретної ділянки дороги і характеризує її ефективність.

Кожне перехрещення та примикання характеризується типом та маневрами автомобілів. Максимальна інтенсивність руху смугою автомобільної дороги зменшується за рахунок перехрещень і примикань, а розрахункова буде між суміжними перехрещеннями та примиканнями.

При відсутності даних по середній швидкості руху на ділянці автомобільної дороги проаналізовано методи її розрахунку в залежності від дорожніх умов. Існуючі методи розрахунку середньої швидкості руху транспортного потоку характеризуються, в основному, лінійними залежностями. середня швидкість вільного руху зменшується за рахунок геометрії дороги, інтенсивності руху та складу транспортного потоку. Аналіз існуючих методів визначення середньої швидкості руху показав велику розбіжність значень середньої швидкості руху для однієї ділянки доріг. Так, швидкість вільного руху змінюється від 55 км/год до 80 км/год. Склад транспортного потоку або не враховується, або враховується частково. До розгляду прийнята ідея:

- визначити середню швидкість вільного руху в залежності від категорії автомобільної дороги та складу транспортного потоку;
- розрахувати зменшення середньої швидкості вільного руху із урахуванням радіусів горизонтальних кривих та поздовжніх похилів.

Дослідження проводились на автомобільних дорогах різних категорій, окремо для кожної групи автомобілів, у результаті яких встановлено середні значення швидкостей вільного руху для різних груп автомобілів на прямолінійних горизонтальних рівних ділянках дороги.

Проведено дослідження впливу поздовжніх похилів на середню швидкість руху транспортного потоку і встановлено коефіцієнти пониження швидкості вільного руху в залежності від поздовжнього похилу.

Дослідження впливу радіусів горизонтальних кривих на середню швидкість руху транспортного потоку показало зміну середньої швидкості руху

при радіусах до 100 м та від 100 м до 600 м, тому встановлено залежності швидкості руху від радіуса горизонтальної кривої для радіусів до 100 м і радіусів від 100 м до 600 м.

На основі цього методу розроблено методику підвищення максимальної інтенсивності руху на ділянці дороги з урахуванням впливу перехресть і примикань автомобільних доріг.

Необхідність зміни радіуса горизонтальної кривої та зменшення поздовжнього похилу визначається на основі продуктивності роботи дороги (за дослідженням Ланового О.В.), максимум якої є добуток максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі та середньої швидкості руху транспортного потоку на даній ділянці дороги. При наявності поздовжнього похилу потрібно враховувати середню швидкість руху, як в прямому так і в зворотному напрямку.

У дисертації розглянуто можливість проїзду великогабаритних автомобілів на з'їздах перехресть та примикань різних радіусів. Влаштування перехідно-швидкісних смуг різної довжини та різного мінімального радіуса вирішує цю задачу. На основі розроблених рекомендацій зменшується інтервал часу звільнення смуги руху автомобілем на головній дорозі.

У дисертації приведено приклад збільшення максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі між перехрещеннями та примиканнями ділянки автомобільної дороги Київ – Суми. Запропоновані заходи дозволять підвищити максимальну інтенсивність руху до 60%. На основі проведених досліджень розроблено наступні заходи, які підвищують максимальну інтенсивність руху на перехрещеннях та примиканнях : будівництво перехідно-швидкісних смуг при повороті праворуч із головної дороги на другорядну із урахуванням часу звільнення автомобілем смуги руху головної дороги та інтервалу руху на головній дорозі. В результаті дослідження встановлена інтенсивність руху, при якій необхідно будувати перехідно-швидкісну смугу.

Ключові слова: автомобільна дорога, інтенсивність руху, швидкість руху, горизонтальна крива, поздовжній похил, перехрещення, примикання,

інтервал руху, маневр, ефективність функціонування, реконструкція, смуга руху, перехідно-швидкісна смуга руху.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз

1. Додух К., Пальчик А. Практическая пропускная способность полосы движения автомобильной дороги // Modern management review. Rzeszow: Politechnika Rzeszowska, 2015. № 22 (1/2015), С. 155-171. (p-ISSN 2300-6366, e-ISSN 2353-0758)

Статті у наукових фахових виданнях

2. Додух К.М. Пропускна здатність перехрещень автомобільних доріг в одному рівні // Проблеми транспорту: збірник наукових праць К.: НТУ, 2010. Вип. 7. С. 101 – 105.

3. Додух К.М., Шостак С.М. Інформаційне забезпечення водіїв в складних дорожніх умовах // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. К. :НТУ, 2013. Вип. 90. С. 218-221.

4. Додух К.М. Практична пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги // Вісник Національного транспортного університету. К. : НТУ, 2013. Вип.28. С. 164-169.

5. Додух К.М., Пальчик А.М. Неізнана Н.В. Практична пропускна здатність автомобільних доріг // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. К. : НТУ, 2014. Вип. 91. С. 12-17.

6. Додух К.М., Неізнана Н.В. Розробка заходів із покращення умов руху на автомобільних дорогах // Автошляховик України, 2014. № 5 (241). С.26-29.

Опубліковані праці апробаційного характеру

7. Додух К.М., Пальчик А.М. Неізнана Н.В. Пропускна здатність автомобільних доріг. *Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів* : матер. Міжн. наук.-техн. конф. (Харків, жовтень 2010). Харків: ХНАДУ, 2010. С. 38 – 43.

8. Додух К.М., Пальчик А.М. Пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги. *Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг та аеродромів* : матер. Міжн. наук.-техн. конф. (Харків, 01-04.11.2012). Харків: ХНАДУ, 2012. С. 213 – 215.

9. Додух К.М. Пропускна здатність примикань автомобільних доріг в одному рівні . *Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг та аеродромів* : матер. Міжн. наук.-техн. конф. (Харків, 01-04.11.2012). Харків: ХНАДУ, 2012. С. 120 – 123.

10. Додух К.М., Пальчик А.М. Практична пропускна здатність. *Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики* : 15-та Міжн. наук.-практ. конф. (Київ, жовтень 2013). Київ: НТУ, 2013. С. 158 – 160.

11. Додух К.М. Практична пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги. *International Scientific and Practical Internet Conference. World Science* : матер. Міжн. наук.-практ. інтернет-конф. (22-24.09.2014). Dubai, UAE. 2014. С. 38-41.

ABSTRACT

Dodukh K.M. Improvement of the calculation method of the maximum road traffic intensity - Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Thesis for the candidate degree in technical sciences, specialty 05.22.11 – Roads and airdromes. – National Transport University. Kyiv, 2018.

In modern conditions, restoration of the road network of Ukrainian highways and increasing the intensity of traffic requires determination of the road functioning

effectiveness and the implementation of full or partial reconstruction. In order to solve this problem, it is necessary to set the maximum traffic density on an automobile road or its area, which can be serviced without changing the conditions of movement on this section of the road.

As a result of the conducted dissertation research scientific novelty was established:

1. The dependence of the maximum intensity of traffic on the road strip from the average speed of traffic and the composition of the traffic flow is determined, which makes it possible to set the limit value of the traffic intensity without changing the geometric parameters of the highway.

2. The influence of crossings and adjacencies on the same level on the intensity of traffic on two-lane highways is established, which makes it possible to determine the maximum intensity of traffic not only on the road, but also on its separate sections between adjacent intersections and adjacencies.

The practical significance of the results obtained is to develop recommendations for determining the maximum traffic density on roads, taking into account the throughput of crossings and adjacencies in the same level, which can be applied in the feasibility studies of the necessity of its partial or full reconstruction.

The maximum intensity of traffic on the highway is much higher than determined by building codes, especially for roads of Categories III and IV. The main indicator of the efficiency of the operation of roads is the throughput and practical capacity of the highway, which corresponds to the maximum intensity of traffic on the road in specific road conditions. The definition of the maximum intensity of traffic on highways is currently divided into:

- definition of maximum traffic density on the road;
- definition of the maximum intensity of traffic along the motorway lane in specific conditions.

The first method is intended to determine the maximum intensity of traffic based on the lowering coefficients of theoretical bandwidth. In this case, the value of the bandwidth is taken from 200 to 750 vehicles per hour in different countries. The composition of the traffic flow is determined by the percentage of cars or trucks.

These methods include the presence of crossings and adjacencies on the motorway. In this case, the distribution of the intensity of motion at crossings and adjacencies is not taken into account, which reduces the maximum intensity of traffic between intersections and adjacencies. The considered methods cannot show the real possible maximum intensity of the traffic on the road section between the intersections and adjacencies, despite the fact that the more cars carry out maneuvers on them, the more they reduce the maximum traffic intensity on the road section.

In the case of an increase in the intensity of traffic on the main road, car delays are increased at crossing and adjoining roads. The analysis of the above method of determining the maximum intensity of traffic on highways has shown its imperfection for the solution of the problem in the course of the dissertation research.

The second method of determining the maximum intensity of traffic along the lane of the motorway in the concrete road conditions has two approaches:

- dependence of "intensity-speed" on the basis of transport stream models;
- dependence of "intensity-speed" on the basis of conducted experimental researches.

"Intensity-speed" dependence shows the change in the intensity of traffic in column mode of movement from the average speed of traffic flow along the lane of the road. The graph of this dependence varies from the throughput to the maximum intensity of traffic along the lane of the highway at an average speed. The disadvantage of the resulting "intensity-speed" dependencies is the composition of the traffic flow, which is taken into account in part or in percentage of cars. Accordingly, we have different dependencies and obtained results of the values of the maximum intensity of movement. Based on the analysis it was determined that the "intensity-speed" dependence has a system of equations that are characterized by the correlation zone. With a large number of different types of vehicles, the question regarding their consideration arises:

- by type;
- by groups;
- by average length.

Record on types of vehicles is inappropriate and unrealistic in the context of the task.

In this case, all vehicles are divided into groups by length and purpose: cars, trucks, buses and lorries.

Depending on the number of cars in the group, the average length of the car in this group is determined.

The average length of the car in the traffic flow is determined knowing the number of vehicles by groups.

In the course of the dissertation study correlation dependence «intensity-speed» was established, which takes into account the intensity of movement, average speed and average length of the car in the traffic flow, which makes it possible to set the values of maximum intensity of traffic along the lane of the highway in any part of the traffic flow.

Dependence "intensity-speed" shows the maximum intensity of traffic along the lane of the highway (practical bandwidth of the lane). It is used to determine the minimum safe interval between cars. Increasing this intensity leads to a decrease in average speed. This intensity is the limit for a specific section of the road and characterizes its effectiveness.

Each intersection and adjoining road is characterized by the type and maneuver of the cars. The maximum intensity of traffic along the lane of the highway is reduced due to crossings and adjacencies, and the calculation will be between adjacent intersections and adjacencies.

On the basis of this method, measures have been developed to increase the throughput of crossings and adjacencies of highways.

In the dissertation, an example of an increase in the maximum intensity of the road traffic between the intersections and adjacencies of the section of the Kyiv-Sumy motorway is given. The proposed measures will increase the maximum traffic intensity up to 60%. Based on the research carried out, the following measures have been developed to increase the throughput of interconnections and adjacencies: the construction of transitional high-speed lanes at the right turn from the main road to the secondary, taking into account the time of car's vacation of the lane of the main

road and the range of traffic on the main road. The intensity of motion level, which is needed to build a transition-speed lane, has been established as a result of the study.

Recommendations for all car maneuvers at crossings and interconnections were also developed. Particular attention was paid to calculating the throughput of crossings with associated left turns, which increases the throughput by 20%, as well as increases the safety of vehicles.

In the absence of data on average speed of motion on the highway section, methods of its calculation depending on the road conditions are analyzed. Existing methods for calculating the average speed of traffic flow are characterized mainly by linear dependencies. The average speed of free movement is reduced due to geometry, traffic intensity and traffic flow composition. The analysis of the existing methods for determining the average speed showed a large difference in the average speed for one road section. Thus, the speed of free movement varies from 55 km per hour to 80 km per hour. The composition of the traffic flow is either not taken into account or taken into account partly. The idea accepted for consideration is as follows:

- determine the average speed of free traffic, depending on the category of highway and the composition of the traffic flow;
- calculate the decrease of the average free-wheel speed, taking into account the radii of horizontal curves and longitudinal slopes.

The studies were conducted on motorways of different categories, individually for each group of cars, which resulted in the average values of free-wheel speeds for different groups of cars on straight horizontal, even, equal sections of the road.

The study of the effect of longitudinal slopes on the average speed of the traffic flow has been carried out and the coefficients of lowering the free motion speed, depending on the longitudinal slope, have been established.

The study of the effect of the horizontal curves on the average speed of the traffic flow showed a change in the average speed of motion at radii up to 100 m and from 100 m to 600 m. The establishment of the total velocity dependence on the radius of the horizontal curve does not provide a reliable result. After carried researches and obtained results the method for determining the throughput of

crossings and adjacencies, the maximum intensity of traffic along the lane of the highway and the maximum intensity of traffic on the road or its area is developed. The road sections are determined between intersections and adjacencies with the largest redistribution of traffic in directions when performing maneuvers.

The need to change the radius of the horizontal curve and reduce the longitudinal slope is determined on the basis of the performance of the road (according to research by Lanovyy O.V.), the maximum of which is the product of maximum intensity of traffic on the highway and the average speed of traffic flow in this section of the road. In the presence of a longitudinal inclination it is necessary to consider the average speed of movement both in the forward and in the opposite direction.

The dissertation addresses the passage of large-sized vehicles at intersections and adjacencies. The arrangement of transition-speed lanes of different lengths and different minimum radius solves this problem. Based on the recommendations developed, the time interval for vacating the lane on the main road decreases.

Key words: road, traffic intensity, speed, horizontal curve, longitudinal slope, intersection, adjacency, interval of movement, maneuver, efficiency of functioning, reconstruction, lane, transition-speed lane of motion.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз

1. Додух К., Пальчик А. Практическая пропускная способность полосы движения автомобильной дороги // Modern management review. Rzeszow: Politechnika Rzeszowska, 2015. № 22 (1/2015), С. 155-171. (p-ISSN 2300-6366, e-ISSN 2353-0758)

Статті у наукових фахових виданнях

2. Додух К.М. Пропускна здатність перехрещень автомобільних доріг в одному рівні // Проблеми транспорту: збірник наукових праць К.: НТУ, 2010. Вип. 7. С. 101 – 105.

3. Додух К.М., Шостак С.М. Інформаційне забезпечення водіїв в складних дорожніх умовах // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. К. :НТУ, 2013. Вип. 90. С. 218-221.

4. Додух К.М. Практична пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги // Вісник Національного транспортного університету. К. : НТУ, 2013. Вип.28. С. 164-169.

5. Додух К.М., Пальчик А.М. Неізнана Н.В. Практична пропускна здатність автомобільних доріг // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. К. : НТУ, 2014. Вип. 91. С. 12-17.

6. Додух К.М., Неізнана Н.В. Розробка заходів із покращення умов руху на автомобільних дорогах // Автошляховик України, 2014. № 5 (241). С.26-29.

Опубліковані праці апробаційного характеру

7. Додух К.М., Пальчик А.М. Неізнана Н.В. Пропускна здатність автомобільних доріг. *Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів* : матер. Міжн. наук.-техн. конф. (Харків, жовтень 2010). Харків: ХНАДУ, 2010. С. 38 – 43.

8. Додух К.М., Пальчик А.М. Пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги. *Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг та аеродромів* : матер. Міжн. наук.-техн. конф. (Харків, 01-04.11.2012). Харків: ХНАДУ, 2012. С. 213 – 215.

9. Додух К.М. Пропускна здатність примикань автомобільних доріг в одному рівні . *Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг та аеродромів* : матер. Міжн. наук.-техн. конф. (Харків, 01-04.11.2012). Харків: ХНАДУ, 2012. С. 120 – 123.

10. Додух К.М., Пальчик А.М. Практична пропускна здатність. *Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики* : 15-та Міжн. наук.-практ. конф. (Київ, жовтень 2013). Київ: НТУ, 2013. С. 158 – 160.

11. Додух К.М. Практична пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги. *International Scientific and Practical Internet Conference. World Science* : матер. Міжн. наук.-практ. інтернет-конф. (22-24.09.2014). Dubai, UAE. 2014. С. 38-41.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	19
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ МАКСИМАЛЬНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ.....	23
1.1 Метод визначення максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги за допомогою понижуючих коефіцієнтів теоретичної пропускної здатності	24
1.2 Аналіз залежності «інтенсивність – швидкість» у моделях транспортного потоку.....	27
1.3 Аналіз функціональних залежностей «інтенсивність – швидкість» отриманих на основі експериментальних досліджень	32
1.4 Аналіз існуючих залежностей для визначення середньої швидкості руху транспортного потоку.....	40
Висновки до розділу 1.....	49
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ СМУГОЮ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ З УРАХУВАННЯМ ПЕРЕХРЕЩЕНЬ І ПРИМИКАНЬ.....	51
2.1 Дослідження залежності максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги від середньої швидкості руху та складу транспортного потоку.....	52
2.2 Вплив перехресть і примикань на одному рівні на максимальну інтенсивність руху.....	62
2.2.1 Маневрування автомобілів на перехрещеннях та примиканнях	64
2.3. Маневри автомобілів на перехрещеннях та примиканнях на одному рівні при наявності перехідно-швидкісних смуг	70
2.3.1 Поворот праворуч з головної дороги на другорядну при наявності перехідно-швидкісних смуг.....	70
2.3.2 Поворот ліворуч з головної дороги на другорядну при наявності перехідно-швидкісних смуг.....	71
2.4 Розрахунок максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях та	

примиканнях.....	72
Висновки до розділу 2.....	77
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ «ІНТЕНСИВНІСТЬ – ШВИДКІСТЬ» ТА СЕРЕДНЬОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ	79
3.1 Експериментальні дослідження залежності «інтенсивність – швидкість».....	79
3.1.1 Планування експериментальних досліджень залежності «інтенсивність – швидкість».....	79
3.1.2 Визначення необхідної кількості спостережень і статистична обробка результатів натурних досліджень.....	81
3.2 Обробка експериментальних даних залежності «інтенсивність – швидкість».....	82
3.2.1 Визначення достовірності отриманих результатів дослідження.....	86
3.2.2 Дослідження границь застосування залежності «інтенсивність – швидкість».....	88
3.3 Дослідження середньої швидкості руху транспортного потоку та середньої швидкості вільного руху.....	91
3.3.1 Планування експериментальних досліджень середньої швидкості вільного руху транспортного потоку.....	91
3.3.2 Вирівнювання емпіричного розподілу за нормальним законом Лапласа-Гауса.....	95
3.3.3 Порівняння емпіричного і теоретичного розподілу частот за критерієм згоди Пірсона.....	96
3.4 Дослідження середньої швидкості руху транспортного потоку.....	98
3.4.1 Дослідження впливу поздовжнього похилу на середню швидкість руху транспортного потоку.....	99
3.4.2 Дослідження впливу радіусів горизонтальних кривих на середню швидкість руху транспортного потоку.....	103
Висновки до розділу 3.....	111

РОЗДІЛ 4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ НА АВТОМОБІЛЬНІЙ ДОРОЗІ.....	112
4.1 Алгоритм розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги з відомими даними середньої швидкості руху	112
4.2 Алгоритм розрахунку середньої швидкості руху транспортного потоку для виділеної ділянки автомобільної дороги	114
4.3 Алгоритм розрахунку максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях без перехідно-швидкісних смуг	115
4.4 Алгоритм розрахунку максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях і примиканнях з перехідно-швидкісними смугами	117
4.5 Методика підвищення максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі та визначення періоду ефективного функціонування автомобільної дороги	119
Висновки до розділу 4.....	127
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	128
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	130
Додаток А Експериментальні дані дослідження залежності «інтенсивність – швидкість».....	141
Додаток Б Експериментальні дані дослідження середньої швидкості вільного руху та їх статистична обробка.....	148
Додаток В Експериментальні дані дослідження середньої швидкості руху транспортного потоку в залежності від геометричних параметрів автомобільної дороги та їх статистична обробка.....	178
Додаток Г Довідкові матеріали для розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою руху, середньої швидкості руху та інтенсивності руху на перехрещеннях і примиканнях.....	198
Додаток Д Довідки про впровадження та свідоцтво про реєстрацію авторського права.....	232
Додаток Е Список опублікованих праць за темою дисертації	236

ВСТУП

Актуальність теми. Зі збільшенням інтенсивності руху на автомобільних дорогах України виникає необхідність проведення аналізу умов руху та розроблення заходів по їх покращенню.

Автомобільна дорога може ефективно функціонувати до досягнення максимальної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги між суміжними перехрещеннями та примиканнями при середній швидкості руху транспортного потоку.

Перехрещення та примикання є важливими структурними елементами автомобільної дороги, інтенсивність руху на яких має великий вплив на інтенсивність руху ділянкою автомобільної дороги між ними.

В існуючих методах розрахунку інтенсивності руху на автомобільних дорогах недостатньо враховується вплив перехрещень і примикань на одному рівні, що не дає можливості обґрунтувати доцільність проведення повної або часткової реконструкції автомобільної дороги.

Вирішення цієї задачі пов'язане з визначенням максимальної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги між перехрещеннями та примиканнями з урахуванням їх впливу, середньої швидкості руху та складу транспортного потоку, що дає можливість визначити необхідність проведення часткової або повної реконструкції ділянки дороги.

Розробкою методів розрахунку максимальної інтенсивності руху займалися Лобанов Є.М., Сільянов В.В., Ф. Хейт, Д. Дрю, Біруля О.К., Хом'як Я.В., Поліщук В.П., Білятинський О.А., Гуков М.І., Трибунський В.М., Пальчик А.М., Красніков А.М., Кероглу Л.А., Калужський Я.А., Вуліс Д.А., Філіпов В.В., Смірнова Н.В., Лановий О.Т., Красільнікова О.В., Неізнана Н.В., Богаченко В.М. та інші.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні дослідження теоретичного та прикладного характеру виконані за планами Міністерства освіти і науки України, науково-дослідних робіт у Національному

транспортному університеті «Удосконалення методів проектування та реконструкції автомобільних доріг» номер держреєстрації 0106 U000699, «Удосконалення принципів і методів проектування, реконструкції та паспортизації доріг» номер держреєстрації 0111 U010362 та згідно тематичного плану науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт Державної служби автомобільних доріг України «Методика визначення рівня завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг» номер держреєстрації 0109 U008510.

Метою досліджень є удосконалення методу розрахунку максимальної інтенсивності руху на двосмугових автомобільних дорогах з урахуванням перехрещень та примикань на одному рівні для підвищення ефективності функціонування автомобільних доріг.

Для досягнення вказаної мети необхідно **вирішити наступні задачі:**

1. Провести аналіз існуючих методів розрахунку максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі.
2. Розробити закономірності зміни максимальної інтенсивності та швидкості руху смугою автомобільної дороги в різних дорожніх умовах та при різному складі транспортного потоку.
3. Удосконалити метод розрахунку максимальної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги між суміжними перехрещеннями та примиканнями.
4. Розробити методику визначення періоду ефективного функціонування автомобільної дороги на ділянці між перехрещеннями і примиканнями та підвищення максимальної інтенсивності руху.

Об'єктом дослідження є рух транспортного потоку на автомобільних дорогах.

Предметом дослідження є максимальна інтенсивність руху на двосмугових автомобільних дорогах.

Методи дослідження. У рамках дисертаційної роботи застосовувались, методи математичної статистики та теорії імовірності для аналітичного описання колонного руху транспортного потоку, експериментальні

дослідження для визначення залежності «інтенсивність – швидкість» та середньої швидкості руху транспортного потоку в різних дорожніх умовах.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Визначено залежність максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги від середньої швидкості руху та складу транспортного потоку, що дає можливість встановити граничне значення інтенсивності руху без зміни геометричних параметрів автомобільної дороги.

2. Встановлено вплив перехресть і примикань на одному рівні на інтенсивність руху на двосмугових автомобільних дорогах, що дає можливість визначити максимальну інтенсивність руху не тільки на автомобільній дорозі, але і на окремих її ділянках між суміжними перехрещеннями і примиканнями.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні рекомендацій для визначення максимальної інтенсивності руху на автомобільних дорогах з урахуванням перехресть і примикань на одному рівні, які можуть застосовуватись в техніко-економічних обґрунтуваннях необхідності часткової або повної її реконструкції.

Розроблено методику підвищення продуктивності роботи автомобільної дороги за рахунок зміни параметрів автомобільної дороги, яка дозволяє визначити період функціонування автомобільної дороги від будівництва до її реконструкції.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у проектних організаціях підпорядкованих Державній службі автомобільних доріг України, розроблений відомчий документ М 218 – 02070915 – 674 : 2010 «Методика визначення рівня завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг».

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, які виносяться на захист, отримано автором самостійно [29, 30, 31, 32]. У спільних публікаціях автором досліджено зміну максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги [23, 28], досліджено залежності середньої швидкості руху транспортного потоку на основі середньої швидкості вільного руху автомобілів з урахуванням впливу геометричних елементів автомобільної дороги та складу транспортного потоку [22], вивчено

вплив деяких елементів доріг на безпеку руху [33], обґрунтовано основні принципи удосконалення методу розрахунку максимальної інтенсивності руху на автомобільних дорогах [24, 25, 26].

Апробація результатів дисертації: Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювалися на Міжнародній науково-технічній конференції «Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів» (2010 р., м. Харків, ХНАДУ), Міжнародній науково-практичній конференції за участю студентів та молодих вчених «Сучасні комп'ютерно - інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг та аеродромів» (2012 г., м. Харків, ХНАДУ); 15-й Міжнародній науково-практичній конференції «Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики» (2013 р., м. Київ); Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції International Scientific and Practical Internet Conference. World Science. (September 22-24, 2014. Dubai, UAE) та на щорічних наукових конференціях професорсько-викладацького складу аспірантів, студентів та структурних підрозділів Національного транспортного університету (2009 – 2017 рр. м. Київ, НТУ)

Публікації. За результатами досліджень автором опубліковано 11 робіт, з них п'ять в наукових фахових виданнях, одна стаття у закордонному та п'ять в наукових виданнях апробаційного характеру, а також п'ять тез в матеріалах конференцій та отримано одне авторське право.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів та додатків. Загальний обсяг 238 сторінок, з них 140 сторінки основного тексту, який містить 39 рисунків та 34 таблиці, список використаних джерел із 119 найменувань.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ МАКСИМАЛЬНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ

Максимальна інтенсивність руху – це максимально можлива кількість автомобілів в перетині дороги за одиницю часу в конкретних дорожніх умовах та при визначеному складі транспортного потоку. При розробці проекту на реконструкцію автомобільної дороги, розробці проекту або схеми організації дорожнього руху, розрахунку світлофорного регулювання руху, аналізі стану автомобільних доріг використовується значення максимальної інтенсивності при визначеній швидкості руху.

Максимальна інтенсивність руху смугою автомобільної дороги може бути розрахована на основі:

- функціональних залежностей, які ґрунтуються на моделях транспортного потоку;
- коефіцієнтів пониження теоретичної пропускної здатності;
- функціональних залежностей, отриманих при дослідженні характеристик транспортного потоку.

Весь комплекс функціональних залежностей можна розподілити на такі групи:

- функціональні залежності спрощених динамічних моделей;
- функціональні залежності гідродинамічної моделі, моделі слідування за лідером;
- прямолінійні залежності «інтенсивність – швидкість»;
- функціональні залежності на основі досліджень «інтенсивність – швидкість».

В роботі розглянуто наступні залежності на основі моделей транспортного потоку по зв'язку характеристик «інтенсивність – швидкість»:

спрощені динамічні моделі [78], модель слідування за лідером [83], гідродинамічна модель [83], модель Бірулі О.К. [12], модель Трибунського В.М. [88].

1.1 Метод визначення максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги за допомогою понижуючих коефіцієнтів теоретичної пропускної здатності

Метод понижуючих коефіцієнтів застосовується для отримання значення максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги. Для розрахунку використовується значення теоретичної пропускної здатності, яке приймається без необхідного обґрунтування. Вплив дорожніх умов та характеристик транспортного потоку на інтенсивність руху враховується понижуючими коефіцієнтами.

Загальний вигляд рівняння по розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги [53]:

$$N = P_0 \cdot (K_1 \cdot K_2 \cdot \dots K_n), \quad (1.1)$$

де N – максимальна інтенсивність руху смугою автомобільної дороги;

P_0 – теоретична пропускна здатність смуги руху;

K_i – понижуючі коефіцієнти.

Таблиця 1.1 – Коефіцієнти пониження пропускної здатності в існуючих методах розрахунку максимальної інтенсивності руху [53, 82, 84]

Країна	Загальна формула	Чинники, що впливають на максимальну інтенсивність руху
1	2	3
Чехія	$K_n = K_s^2 \cdot K_z \cdot K_u \cdot K_r$	Ширина проїзної частини. Швидкість руху. Поздовжній похил.

Кінець табл. 1.1

1	2	3
Німеччина	$AW_{\lambda} = K_0 \cdot S \cdot g \cdot g_1 \cdot g_2 \cdot U$	Перехрещення та примикання. Довжина ділянки дороги. Поздовжній похил. Видимість. Ширина смуги руху. Аварійність.
США	$N_{\max} = 2000 \cdot n \cdot W_c \cdot T_c \cdot B_c$	Кількість смуг руху. Ширина смуги руху. Наявність бічних перешкод. Вантажні автомобілі. Автобуси.
Росія, Україна	$P = P_0(\beta_1, \dots, \beta_n)$	Ширина смуги руху. Склад потоку. Поздовжній похил. Видимість. Горизонтальні криві. Швидкість руху. Перехрещення в одному рівні. Стан і ширина узбіччя. Рівність покриття. Перешкоди. Технічні засоби ОДР.

Аналізуючи дані методи розрахунку максимальної інтенсивності руху, було визначено наступне:

- необґрунтовано значення теоретичної пропускної здатності смуги руху, яка змінюється від 750 авт/год до 2000 авт/год;
- відсутність чіткого поділу транспортного потоку за типам автомобілів;
- вплив горизонтальних кривих на максимальну інтенсивність руху враховується тільки у методі розробленому Сільяновим В.В., який застосовують в Україні та Росії;
- метод, розроблений Сільяновим В.В., враховує чинники, які впливають на середню швидкість руху транспортного потоку, а не на максимальну інтенсивність руху;
- у методі, розробленому Сільяновим В.В. наявність каналізованого перехрещення автомобільних доріг не знижує максимальну інтенсивність руху смугою автомобільної дороги.

Для проведення детального аналізу розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою руху взято ділянку автомобільної дороги Козелець –

Бобровиця км 20+00 – км 24+00. Дорога IV категорії. Інтенсивність руху 98 авт/год. Склад транспортного потоку: 40% легкових автомобілів, 50% вантажних автомобілів та 10% автобусів. Довжина ділянки – 4 км, з них 2 км по населеному пункту і 2 км поза населеним пунктом. Швидкість проїзду і радіуси горизонтальних кривих визначені з використанням GPS-приймача, а ширина проїзної частини, узбіччя та відстань видимості встановлені на основі замірів.

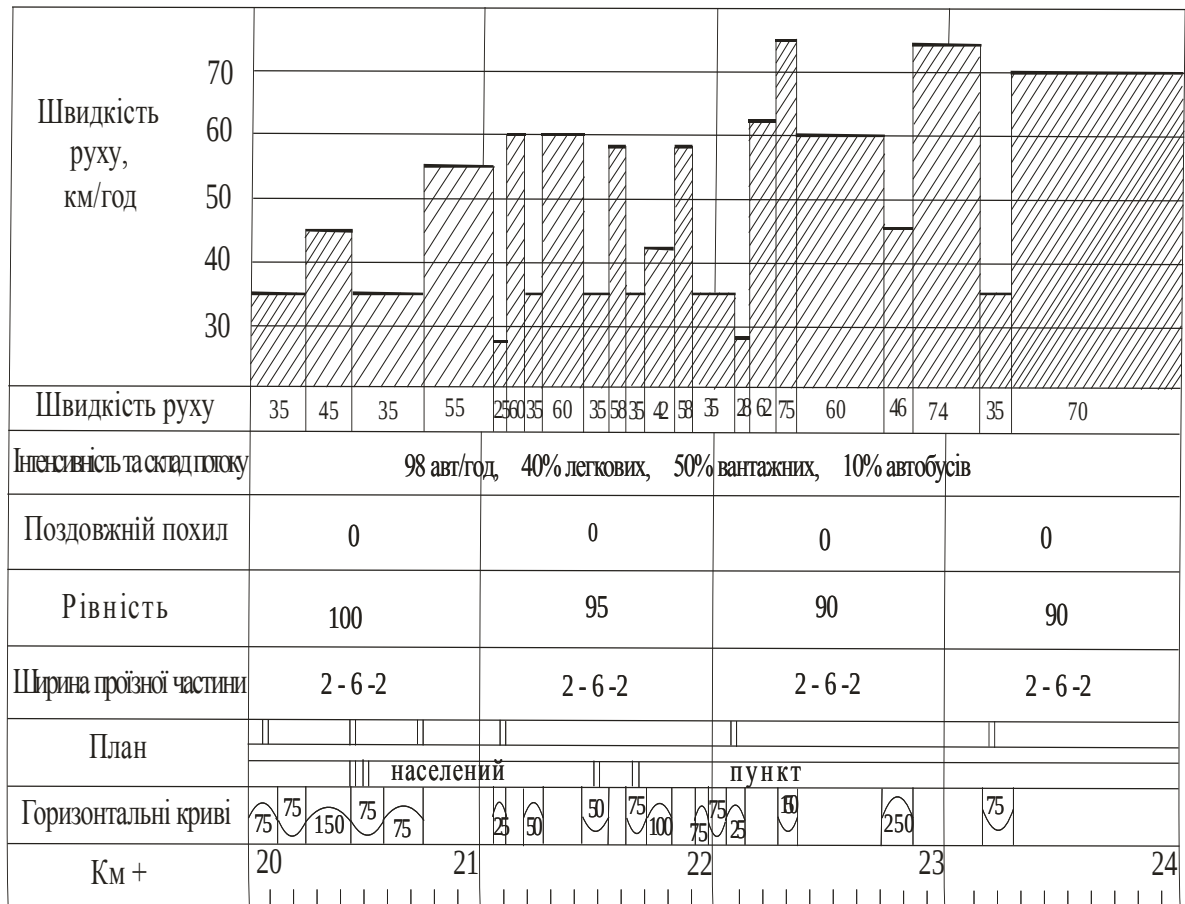


Рисунок 1.1 – Графік середньої швидкості руху транспортного потоку на окремих ділянках автомобільної дороги Козелець – Бобровиця, км 20+00 – км 24+00

Як видно з графіку максимальної інтенсивності руху (рис. 1.2), на одній ділянці дороги при одних і тих же умовах максимальна інтенсивність руху змінюється від 725 до 250 автомобілів за годину, що підтверджує необхідність удосконалення методу визначення максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги.

Інтенсивність руху, авт/год	Німеччина		713																							
	Чехія		725																							
	Україна, Росія		236	250	236	303	236	257	236	236	194	250	278	250	278	257	278									
Підсумковий коефіцієнт		B	0,236	0,25	0,236	0,303	0,236	0,257	0,236	0,236	0,194	0,25	0,278	0,25	0,278	0,257	0,278									
		b16						1																		
		b15						0,69																		
		b14						1																		
		b13						1																		
		b12						1																		
		b11						0,9																		
		b10						0,9																		
		b9						0,9																		
		b8						0,98																		
		b7	0,85	0,9	0,85		0,85						0,9		0,9		0,85									
		b6	0,9			0,98	0,9	0,98	0,9		0,74	0,9				0,98	0,9									
		b5						1																		
		b4						0,9																		
		b3						1																		
		b2						0,8																		
		b1						0,87																		
Інтенсивність руху		98 авт/год;		40%		легкових автомобілів, 50% вантажних, 10% автобусів																				
Поздовжній похил		0					0					0					0									
Видимість		150	250	200	350	150	350	150	250	100	350			350	150	350										
Цифри розмітки		2 - 6 - 2					2 - 6 - 2					2 - 6 - 2					2 - 6 - 2									
План дороги																										
		населений пункт																								
Горизонтальні криві		75	75	150	75	25	50	75	100	75	25	75	25	250	75	25										
Км +		20					21					22					23					24				

Рисунок 1.2 – Графік максимальної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги Козелець – Бобровиця (км 20+00 – км 24+00) розрахованої за допомогою коефіцієнтів пониження теоретичної пропускної здатності

1.2 Аналіз залежності «інтенсивність – швидкість» у моделях транспортного потоку

Теоретична пропускна здатність відповідає залежності [78]:

$$P = g_0 \cdot V_0, \quad (1.2)$$

де g_0 – щільність автомобілів при колонному русі і мінімальних інтервалах;

V_0 – середня швидкість руху, що відповідає максимальній практичній пропускній здатності.

Теоретичну пропускну здатність у динамічних моделях розраховують за допомогою залежності «інтенсивність – швидкість» [78]:

$$N_{\max} = \frac{1000 \cdot V}{D}, \quad (1.3)$$

де $N_{\max}$ – інтенсивність руху, авт/год;

V – середня швидкість руху, м/с;

D – динамічний габарит, м.

У цьому випадку передбачається колонний рух автомобілів.

Основні залежності спрощених динамічних моделей поділяються на три групи:

- перша – без урахування гальмівного шляху;
- друга – з урахуванням гальмівного шляху заднього автомобіля;
- третя – з урахуванням гальмівних шляхів переднього і заднього автомобілів.

Розрахункова схема третьої групи спрощених динамічних моделей приведена на рис.1.3.

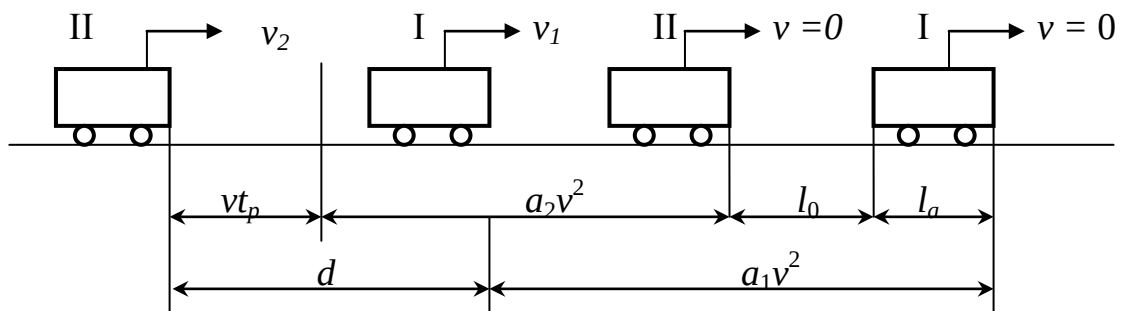


Рисунок 1.3 – Розрахункова схема руху на основі рівняння третьої групи

Третя група спрощеної динамічної моделі [78]:

$$N = \frac{1000 \cdot V}{l_a + l_p + l_0 + l_{t2} - l_{t1}}, \quad (1.4)$$

де V – середня швидкість руху транспортного потоку, м/с;

l_a – довжина автомобіля, м;

l_p – шлях, який проходить автомобіль за час реакції водія, м;

l_0 – відстань безпеки, м;

l_{t2} – гальмівний шлях другого автомобіля, м;

l_{t1} – гальмівний шлях першого автомобіля, м.

У випадку, коли не враховується гальмівний шлях переднього автомобіля до розрахунку буде прийнята друга група динамічної моделі, при відсутності гальмівних шляхів автомобілів – перша група динамічної моделі.

Розрахункова теоретична пропускна здатність за моделями розраховується тільки для потоку із легкових автомобілів і становить:

перша група $P = 4500$ авт/год при $v \geq 100$ км/год;

друга група $P = 2700$ авт/год при $v = 55$ км/год;

третя група $P = 1875$ авт/год при $v = 45$ км/год [53].

Дослідження Кероглу Л.А. [44], Калужського Я.А. [41], а пізніше Лобанова Є.М. [53] та Красильникової О. В. [45] довели наявність мінімального інтервалу між автомобілями від 1,5 с до 3,0 с. Судячи із цього, теоретична пропускна здатність не перевищує 2200 авт/год. На практиці цей метод застосували Біруля О.К. та Вуліс Д.А. [11]:

$$N = \frac{3600 \cdot \psi \cdot V_p}{a \cdot V_p^2 + t \cdot V_p + l_a + D_0}, \quad (1.5)$$

де

$$V_p = 2 \sqrt{\frac{l_a + D_0}{a}} \cdot \cos \gamma, \quad (1.6)$$

$$\gamma = \frac{1}{3} \arccos \frac{1}{2\sqrt{a(l_a + D_0)}}, \quad (1.7)$$

де ψ – понижуючий коефіцієнт (0,7–0,9);

a – прискорення гальмування (0,12–0,20), м/с²;

t – час спрацювання гальмівної системи (1,5–2,2), с;

l_a – середня довжина автомобіля, м;

D_0 – безпечна дистанція, м;

У визначенні максимальної інтенсивності руху найбільшого розвитку набули «модель слідування за лідером» та «гідродинамічна модель». Ф. Хейт довів, що кінцевий результат цих моделей однаковий і характеризується наступними залежностями [34, 89]:

$$P = \frac{1}{4} V_\epsilon \cdot g_{\max}, \quad (1.8)$$

або

$$P = \frac{1}{e} V_0 \cdot g_{\max}, \quad (1.9)$$

де V_ϵ – швидкість вільного руху;

$g_{\max}$ – максимальна щільність транспортного потоку;

e – основа натурального логарифму;

V_0 – швидкість, що відповідає пропускній здатності.

У гідродинамічній моделі транспортного потоку та моделі слідування за лідером використовують розрахункову схему, що наведена на рис. 1.4.

Порівняння функціональних залежностей «інтенсивність – швидкість» у моделях транспортного потоку наведено на рис. 1.5 [78].

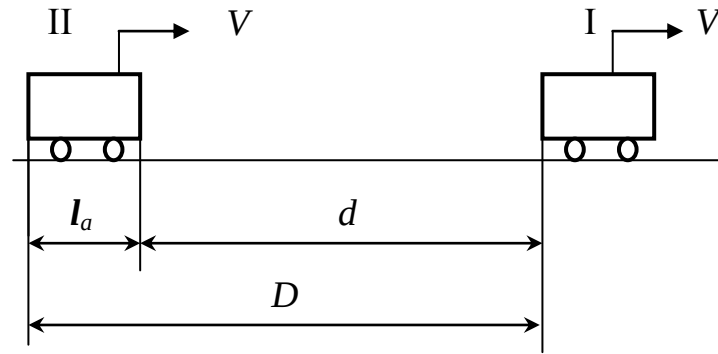


Рисунок 1.4 – Розрахункова схема руху автомобілів в гідродинамічній моделі транспортного потоку

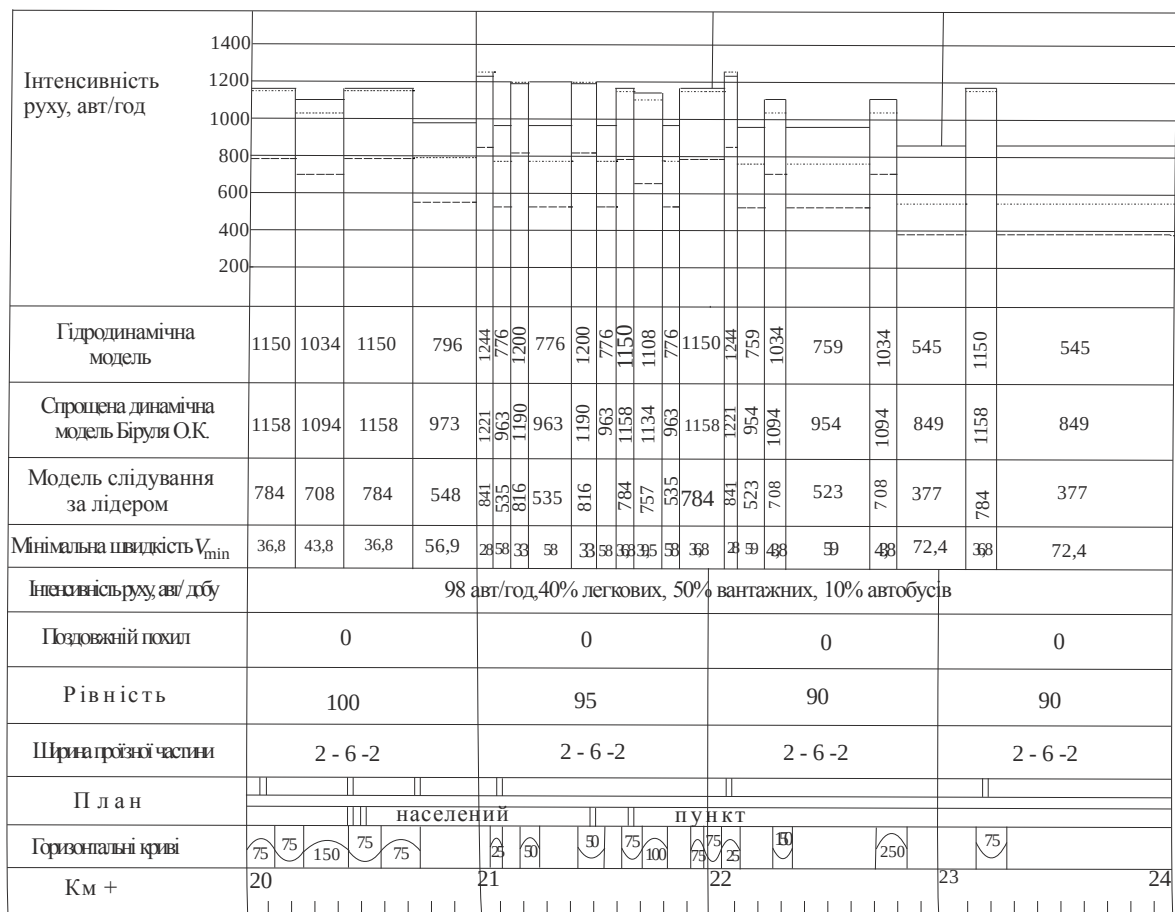


Рисунок 1.5 – Графік максимальної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги Козелець – Бобровиця (км 20+00 – км 24+00) розрахованої за допомогою моделей транспортного потоку

Аналізуючи графік (рис. 1.5), можна зробити висновок про велику розбіжність результатів розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги, яка при одних і тих же умовах змінюється від 377 до 849

автомобілів за годину, що підтверджує необхідність удосконалення методу визначення максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі.

1.3 Аналіз функціональних залежностей «інтенсивність – швидкість» отриманих на основі експериментальних досліджень

За цим методом визначається максимальна інтенсивність руху на основі функціональної залежності для різних швидкостей транспортного потоку при колонному русі автомобілів.

Одним із напрямків визначення залежності «інтенсивність – швидкість» було одержання її на основі експериментальних досліджень. Прямолінійні залежності отримали: Хом'як Я.В., Кероглу Л.А., Сільянов В.В., Білятинський О.А. загальний вигляд якої [10, 44, 82, 91]:

$$V = V_{\epsilon} - \alpha \cdot N . \quad (1.10)$$

Звідки

$$N = \frac{V_{\epsilon} - V}{\alpha \cdot K} , \quad (1.11)$$

де V_{ϵ} – швидкість вільного руху, км/год;

α – коефіцієнт, що враховує склад транспортного потоку, частки одиниці;

K – коефіцієнт, що враховує конкретні дорожні умови, частки одиниці.

У цьому випадку максимальна інтенсивність руху смугою руху автомобільної дороги є невизначеною, відсутній максимум.

Сільянов В.В. запропонував лінійну функціональну залежність, яка працює при інтенсивності менше 600 авт/год однією смугою руху [82]:

$$N = \frac{59 - V}{0,015} . \quad (1.12)$$

При 80 % легкових і 20 % вантажних автомобілів у складі транспортного потоку працює наступна функціональна залежність:

$$N = \frac{70 - V}{0,008}, \quad (1.13)$$

де V – середня швидкість руху транспортного потоку.

Залежність для всього потоку на трьохсмуговій дорозі запропонували Сільянов В.В., Білятинський О.А. [10, 82]:

$$N = \frac{67,23 - V}{0,0164}. \quad (1.14)$$

Залежність з урахування частки легкових автомобілів представив Трибунський В.М. [88]:

$$V = 52 - (0,019 - 0,00014P_{\text{л}})N + 0,22P_{\text{л}}, \quad (1.15)$$

звідки

$$N = \frac{52 - V + 0,22P_{\text{л}}}{0,019 - 0,00014P_{\text{л}}}, \quad (1.16)$$

де $P_{\text{л}}$ – частка легкових автомобілів у транспортному потоці, частки одиниці.

Хом'як Я.В. запропонував залежність [91]:

$$N = \frac{55,42 - V}{0,0136}. \quad (1.17)$$

Результати аналізу існуючих лінійних залежностей по розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги показано на рис. 1.6.

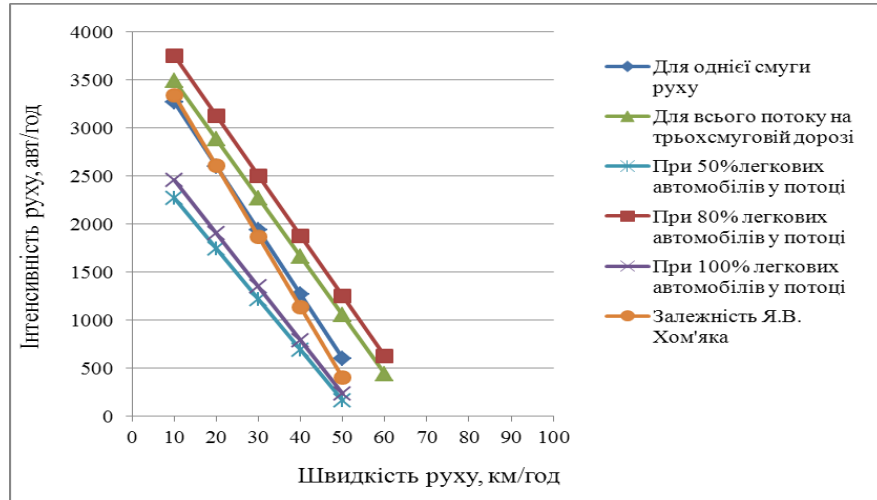


Рисунок 1.6 – Графік прямолінійних функціональних залежностей «інтенсивність – швидкість»

Поняття максимальної інтенсивності руху, що відповідає даній швидкості руху визначив Хом'як Я.В. [91]:

$$A(V) = A_{\max} \left(\frac{V_g - V}{V_g - V_0} \right), \quad (1.18)$$

де $A_{\max}$ – максимальна інтенсивність руху;

V_g – середня швидкість вільного руху, км/год;

V – середня швидкість транспортного потоку, км/год;

V_0 – швидкість, що відповідає пропускній здатності, км/год.

Швидкість, що відповідає пропускній здатності визначають за формулою:

$$V_0 = 3,6 \sqrt{\frac{2g(\varphi + f \pm i)(l_0 + l_a)}{K_z - K_n}}, \quad (1.19)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення;

f – коефіцієнт опору кочення;

i – поздовжній похил;

l_0 – відстань безпеки між автомобілями в заторі (5–10 м);

l_a – довжина автомобіля, м;

K_z, K_n – коефіцієнти експлуатаційного стану гальмівної системи заднього і переднього автомобіля.

Ця залежність може працювати при умові $K_z > K_n$. Крім того, залишається невизначеною величиною $A_{\max}$.

Трибунський В.М. на основі експериментальних досліджень запропонував наступну залежність [88]:

$$N = 98V - 1,919V^2 + 0,115V_n, \quad (1.20)$$

або

$$N = g_{\max} \cdot V_g, \quad (1.21)$$

де

$$g_{\max} = 81 + 0,125P_l, \quad (1.22)$$

$$V_g = 7,6 + 0,052P_l, \quad (1.23)$$

де $g_{\max}$ – максимальна щільність транспортного потоку;

V_g – швидкість вільного руху транспортного потоку;

P_l – частка легкових автомобілів у транспортному потоці, частки одиниці;

Ця залежність не може характеризувати максимальну інтенсивність руху через мале значення середньої швидкості вільного руху V_g . При 100 % легкових автомобілів вона становить:

$$V_g = 7,6 + 0,052 \cdot 100 = 12,8 \text{ км/год.}$$

Отримане значення середньої швидкості вільного руху менше швидкості руху, що відповідає максимальній інтенсивності руху смугою автомобільної дороги.

Крім того, при 100 % легкових автомобілів максимальна щільність транспортного потоку становить:

$$g_{\max} = 81 + 0,125 \cdot 100 = 93,5 \text{ авт/км.}$$

При довжині автомобіля 4,0 м та мінімальній дистанції 1,0 м максимальна щільність транспортного потоку становить:

$$g_{\max} = \frac{1000}{4+1} = 200 \text{ авто/км.}$$

Графіки розглянутих функціональних залежностей «інтенсивність – швидкість» наведено на рис. 1.7.

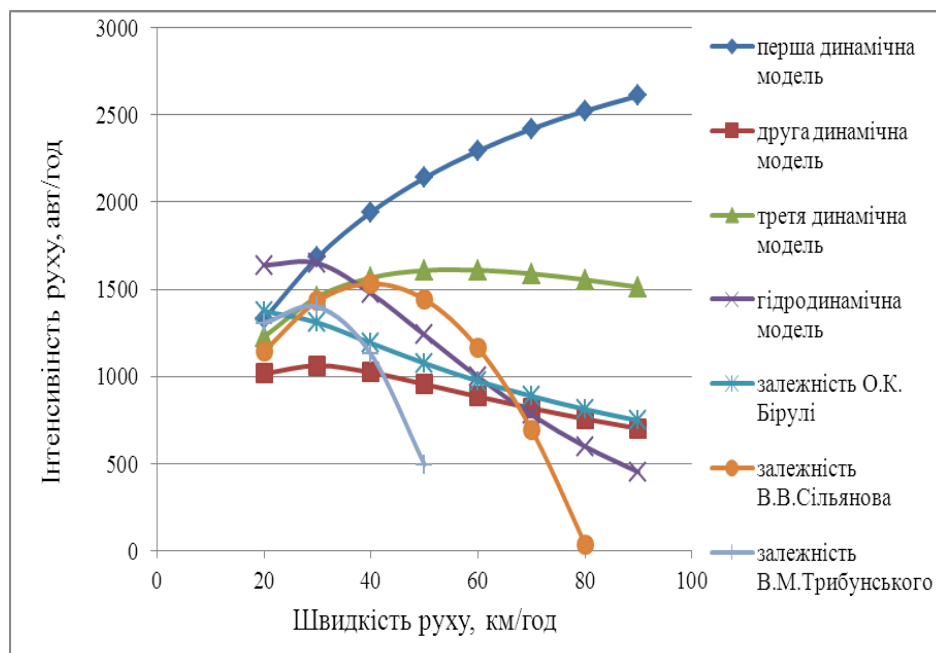


Рисунок 1.7 – Графік функціональних залежностей «інтенсивність – швидкість»

Динамічний габарит, згідно встановленої залежності «інтервал – швидкість» Красильниковою О.В. та Неізнестною Н.В. [45] при коефіцієнті поздовжнього зчеплення $\varphi_{pod} = 0,6$ визначається:

$$D = \frac{V(l_a + 1)(0,003V^2 - 0,015V + 0,61)}{3,6}, \quad (1.24)$$

де V – середня швидкість руху автомобіля, км/год;

l_a – середня довжина автомобіля в транспортному потоці, м:

$$l_a = l_{лег} \cdot a + l_{ван} \cdot b + l_{авт} \cdot c + l_{ан} \cdot d, \quad (1.25)$$

де $l_{лег}$, $l_{ван}$, $l_{авт}$, $l_{ан}$ – відповідно довжина легкових, вантажних автомобілів, автобусів та автопотягів, м;

a , b , c , d – відповідно частка легкових, вантажних автомобілів, автобусів та автопотягів в транспортному потоці.

Красильниковою О.В. та Неізнестною Н.В. встановлений динамічний габарит, який враховує вплив коефіцієнта зчеплення [45]:

$$D = \frac{1,6e^{-0,8\varphi} V(l_a + 1)(0,003V^2 - 0,015V + 0,61)}{3,6}. \quad (1.26)$$

Отже, інтервал слідування при різних значеннях коефіцієнту зчеплення визначається за формулою [45]:

$$t_{min} = 1,6e^{-0,8\varphi} (l_a + 1)(0,003V^2 - 0,015V + 0,61), \quad (1.27)$$

де e – основа натурального логарифму;

φ – коефіцієнт зчеплення.

Для визначення величини максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги необхідно встановити динамічний габарит, який відповідає фактичній швидкості руху та коефіцієнту поздовжнього зчеплення.

Максимальна інтенсивність руху смугою автомобільної дороги, яка визначається на основі досліджень Неівестної Н.В. [45]:

$$N_{\max} = (4025,7 - 209,52l_a)e^{(1,079-0,0321l_a)\varphi} \quad (1.28)$$

Для порівняння розраховано максимальну інтенсивність руху за допомогою вище наведених залежностей для різних значень швидкості руху. Результати розрахунку показано в табл. 1.2. На основі розрахованих даних максимальної інтенсивності руху побудовано графік функціональних залежностей «інтенсивність – швидкість» (рис.1.8).

Таблиця 1.2 – Порівняння існуючих методів розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги

Швидкість руху, км/год	Перша динамічна модель	Друга динамічна модель	Третя динамічна модель	Гідродинамічна модель	Спрощена динамічна модель (Біруля А.К.)	Модель слідування за лідером Сільянова В.В.	Трибунський В.М.	Чехія	Німеччина	Хом'як Я.В.	Білятинський О.А.
27	1432,36	989,46	1279,62	1251,61	1224,97	1365,25	1408,7	725	713	2089,7	2453
28	1464,44	992,58	1299,24	1247,23	1220,69	1389,37	1408,9	725	713	2016,2	2392,1
33	1608,19	995,98	1381,70	1204,22	1188,96	1481,61	1355,4	725	713	1648,5	2087,2
36,8	1706,07	988,26	1429,24	1154,06	1157,70	1520,11	1254,1	725	713	1369,1	1855,5
39,5	1769,71	978,42	1872,04	1112,29	1133,38	1530,88	1150,2	725	713	1170,6	1690,9
43,8	1862,24	957,66	1487,55	1039,02	1092,89	1519,57	930,17	725	713	854,41	1428,7
49,7	1976,14	925,24	1516,74	931,81	1037,54	1447,18	519,07	725	713	420,59	1068,9
56,9	2095,76	880,86	1532,22	800,55	972,25	1269,68	-153,8	725	713	-108,8	629,88
58	2112,16	873,63	1532,72	781,00	962,52	1233,93	-273,1	725	713	-189,7	562,8
59	2126,89	867,20	1533,05	763,41	953,84	1199,45	-385,5	725	713	-263,2	501,83
72,4	2301,34	785,92	1519,84	549,00	848,20	555,00	-2241	725	713	-1249	-315,2

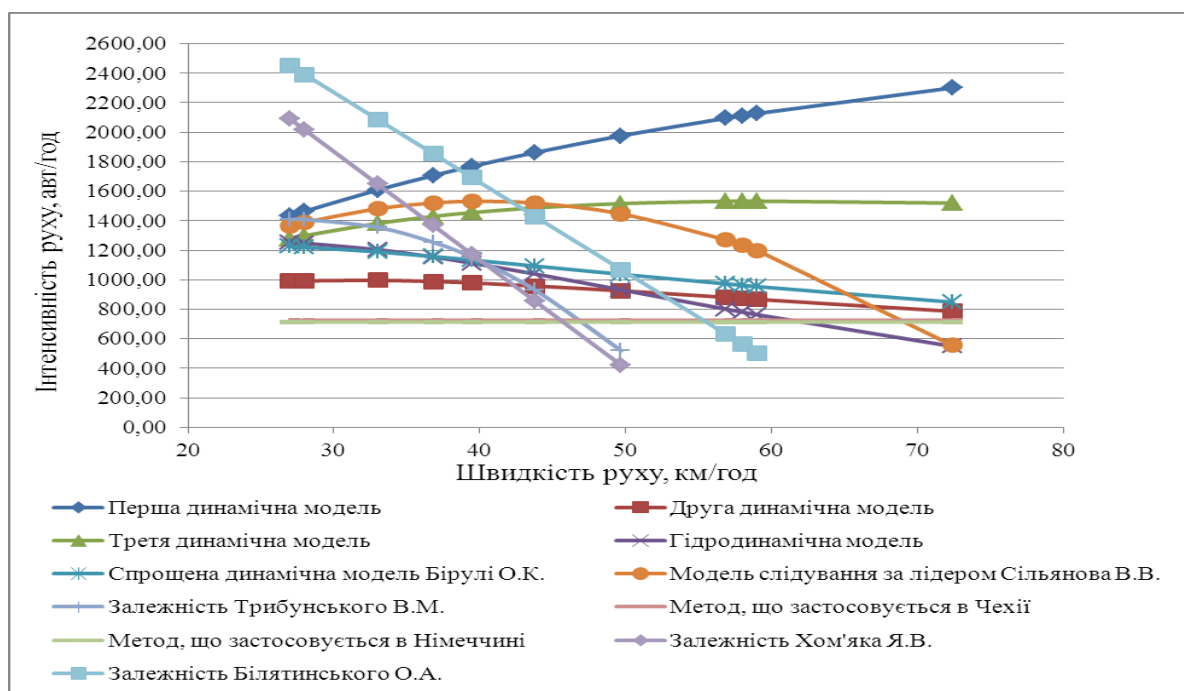


Рисунок 1.8 – Графік функціональних залежностей «інтенсивність – швидкість»

Представлений графік показує велику різницю значень максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги, розрахованих на основі аналізу залежностей «інтенсивність – швидкість». Наприклад, при швидкості 60 км/год максимальна інтенсивність руху змінюється від 500 до 2000 авто/год.

На максимальну інтенсивність руху на автомобільній дорозі впливають геометричні параметри дороги, стан покриття, склад транспортного потоку та багато інших чинників.

На основі аналізу даних залежностей встановлено, що вони не є універсальними і не повністю відображають фізичний зміст руху транспортного потоку, оскільки враховують далеко не всі чинники, що впливають на максимальну інтенсивність руху смугою автомобільної дороги. Перша динамічна модель не враховує гальмівний шлях, друга динамічна модель враховує тільки гальмівний шлях заднього автомобіля, третя динамічна модель враховує різницю гальмівних шляхів заднього та переднього автомобілів. Модель, запропонована Біруля О.К. враховує коефіцієнт зчеплення, що змінюється від 0,2 до 0,6. Модель запропонована Трибунським

В.М. враховує щільність транспортного потоку. Всі ці моделі працюють в певному діапазоні швидкостей.

Розрахунок максимальної інтенсивності руху смугою руху автомобільної дороги для швидкостей від 20 до 90 км/год дає велику розбіжність значень для одного значення швидкості. Тому виникає необхідність встановити залежність, яка б найбільш точно описувала зв'язаний рух транспортного потоку.

1.4 Аналіз існуючих залежностей для визначення середньої швидкості руху транспортного потоку

В умовах високої інтенсивності руху важливого значення набувають питання оцінки транспортно-експлуатаційних якостей доріг з позиції пропуску потоків автомобілів. Середня швидкість руху є основним параметром для оцінки транспортно - експлуатаційного стану автомобільної дороги. Швидкість руху можна встановити шляхом безпосередніх вимірів на окремих ділянках дороги або шляхом розрахунків.

Для визначення максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі потрібно визначити середню швидкість руху транспортного потоку на всіх ділянках автомобільної дороги. Існує декілька груп залежностей для визначення середньої швидкості руху транспортного потоку на автомобільній дорозі :

1. Залежності для визначення середньої швидкості руху з урахуванням інтенсивності руху, складу транспортного потоку та параметрів автомобільної дороги.

2. Залежності для визначення мінімальної швидкості руху з урахуванням інтенсивності руху, категорії дороги, радіусів горизонтальних кривих, поздовжніх похилів та рівності покриття.

Залежності для визначення середньої швидкості руху від інтенсивності руху, складу транспортного потоку та параметрів автомобільної дороги

Прикладом першої групи залежностей є наукові розробки Бабкова В.Ф., Васильєва А.П., Лобанова Є.М., Сільянова В.В. [8, 14, 78, 82, 83].

Середня швидкість змішаного потоку автомобілів для сухого покриття в літню пору року при коефіцієнті завантаження від 0,1 до 0,85 із врахуванням впливу дорожніх умов та інтенсивності руху на двосмугових дорогах [78]:

$$V_n = V_0 \cdot \theta - \alpha \cdot K_\alpha \cdot N, \quad (1.29)$$

де V_0 – середня швидкість вільного руху легкових автомобілів при малому значенні коефіцієнта завантаження на прямолінійній горизонтальній ділянці з шириною проїзної частини 7,5 м, крайовими смугами 0,75 м та укріпленими узбіччями шириною 3,5 м (приймається рівною 90 км/год);

θ – підсумковий коефіцієнт, який враховує вплив геометричних елементів дороги, складу транспортного потоку та засобів організації руху на швидкість вільного руху. Він є добутком окремих коефіцієнтів [78]:

$$\theta = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3, \quad (1.30)$$

де τ_1 – коефіцієнт, що враховує вплив поздовжнього похилу (табл.1.3)

Таблиця 1.3 – Коефіцієнт, що враховує вплив поздовжнього похилу [78]

Похил,‰	0	20	30	40	50	60	70	80
τ_1	1,0	0,92	0,84	0,76	0,68	0,56	0,45	0,34

τ_2 – коефіцієнт, що враховує вплив складу потоку (табл.1.4)

Таблиця 1.4 – Коефіцієнт, що враховує вплив складу потоку [78]

Кількість легкових автомобілів в потоці, %	100	70	50	40	20	10	0
τ_2	1,0	0,9	0,8	0,78	0,75	0,67	0,62

τ_3 – коефіцієнт, що враховує вплив дорожніх умов та засобів організації руху;

α – коефіцієнт, що залежить від складу руху (табл.1.5)

Таблиця 1.5 – Коефіцієнт, що залежить від складу руху [78]

Кількість легкових автомобілів в складі руху, %	0	10	20	40	50	70	100
α	0,020	0,018	0,016	0,013	0,012	0,010	0,007

K_α – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив розмітки проїзної частини на швидкість руху, кривих в плані, характеристик поздовжніх похилів;

N – інтенсивність руху, авт/год.

Метод розроблений Кацом А.В. та Раснянським Д.І., за яким середня швидкість руху розраховується за залежністю [82]:

$$V = \log k + 3,16B - 0,21i - 0,023N - 0,13P_{\text{л}} - 71,0, \quad (1.31)$$

де V – середня швидкість руху, км/год;

k – площа деформації дорожнього покриття, що впливають на швидкість;

B – ширина проїзної частини, м;

i – поздовжній похил, ‰;

N – інтенсивність руху, авт/год;

$P_{\text{л}}$ – частка легкових автомобілів, %.

Для оцінки швидкості руху у вільних умовах на двосмугових дорогах Анохін Б.Б. запропонував наступну залежність [6]:

$$V_0 = 29,0 + 3,85B - 0,53i + 0,0096R + 10,8P_{\text{л}} - 10,3P_{\text{ан}}, \quad (1.32)$$

де B – ширина проїзної частини, м;

i – поздовжній похил, ‰;

R – радіус кривої в плані, м ($100 < R < 1000$ м);

$P_{\text{л}}, P_{\text{ан}}$ – кількість відповідно легкових автомобілів та авто потягів в складі потоку в частках одиниці.

При влаштуванні додаткової смуги руху на підйом значно змінюється швидкісний режим транспортного потоку. Для визначення швидкості вільного руху на основній (лівій) смузі запропоновано залежність [88]:

$$V = 62,2 - 0,521i + 0,009 \cdot 7R + 11,16P_{\text{л}} - 9,6P_{\text{ан}}, \quad (1.33)$$

де i – поздовжній похил, ‰;

R – радіус кривої в плані, м;

$P_{\text{л}}$ – частка легкових автомобілів у транспортному потоці, відн. од;

$P_{\text{ан}}$ – частка автопотягів у транспортному потоці, відн. од

Залежність «швидкість руху – інтенсивність руху» може бути апроксимована лінійною функцією:

$$V = V_0 - \alpha N \quad (1.34)$$

Перший член цих рівнянь – швидкість руху одиночних автомобілів V_0 при відсутності перешкод з боку інших транспортних засобів – залежить від динамічних факторів автомобілів, а другий член враховує вплив окремих чинників. Залежності для визначення середньої швидкості руху та чинники, що на неї впливають зведено в таблицю 1.6 [6, 8, 14, 78, 82, 83, 88, 91].

Таблиця 1.6– Лінійні залежності середньої швидкості руху

№№	Формула	Смуги руху	Чинники
1	$V = 59 - 0,015N$	2 смуги	Інтенсивність
2	$V = 78 - 0,0385N$	2 смуги	Інтенсивність, легкові автомобілі
3	$V = 54,2 - 0,0122N$	2 смуги	Інтенсивність, вантажні автомобілі
4	$V = 67,23 - 0,0164N$	3 смуги ,весь потік	Інтенсивність
5	$V = 61,89 - 0,01218N$	3 смуги, зовнішня смуга	Інтенсивність
6	$V = 76,93 - 0,00438N$	3 смуги, центральна	Інтенсивність
7	$V = 72,3 - 0,0081N$	6 смуг, весь потік	Інтенсивність
8	$V_1 = 58,5 - 0,0092N$	6 смуг, крайня смуга	Інтенсивність
9	$V_2 = 77 - 0,0257N$	6 смуг, середня смуга	Інтенсивність
10	$V_3 = 85,5 - 0,0364N$	6 смуг крайня ліва	Інтенсивність
11	$V = 52 - (0,019 - 0,00014P_{\text{л}})N + 0,22P_{\text{л}}$	2 смуги	Інтенсивність, частка легкових автомобілів
12	$V = 55 - (0,017 - 0,00013P_{\text{л}})N + 0,215P_{\text{л}}$	3 смуги	Інтенсивність, частка легкових автомобілів
13	$V = 59 - (0,015 - 0,00012P_{\text{л}})N + 0,21P_{\text{л}}$	4 смуги	Інтенсивність, частка легкових автомобілів
14	$V = 62 - (0,012 - 0,0001P_{\text{л}})N + 0,2P_{\text{л}}$	6 смуг	Інтенсивність, частка легкових автомобілів
15	$V = 64 - (0,009 - 0,000081P_{\text{л}})N + 0,19P_{\text{л}}$	8 смуг	Інтенсивність, частка легкових автомобілів
16	$V = 69 + 9,8b$	2 смуги, весь потік	Ширина узбіччя
17	$V = 73,5 + 10,5b$	2 смуги, легкові автомобілі	Ширина узбіччя
18	$V = 58 + 1,58B$	2-3 смуги, потік автомобілів	Ширина проїзної частини
19	$V = 81,7 - i_{\text{с}}$	2 смуги	Віраж
21	$V = 88 - 0,168S$	2 смуги	Видимість

Як видно з проведеного аналізу, практично у всіх залежностях за основу приймається середня швидкість вільного руху. В зв'язку з цим виникає необхідність проведення досліджень середньої швидкості вільного руху автомобілів на дорогах різних категорій.

Значна зміна швидкості руху спостерігається на ділянках підйомів. Значення сталої швидкості руху з урахуванням певного похилу визначають за залежністю [82]:

$$V_i = \frac{V_0}{1 + \alpha i}, \quad (1.35)$$

де V_0 – початкова швидкість при в'їзді на підйом, км/год;

α – емпіричний коефіцієнт;

i – поздовжній похил, відн.од.

Коефіцієнт α в залежності від похилу має наступні значення, які показані в табл. 1.7 [82].

Таблиця 1.7 – Емпіричні коефіцієнти в залежності від поздовжнього похилу

Похил, відн. од.	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08
Коефіцієнт α	9	10	13,5	17,5	26,7	28,6	29,4

Суттєво впливають на швидкість руху радіуси кривих в плані. Швидкість руху у вільних умовах на кривих із забезпеченою видимістю більше 700 м може бути визначена за рівнянням [82]:

$$V = 78 \left[1 - \exp(-0,0159R) \right] \quad (1.36)$$

Для легкових автомобілів:

$$V_{\text{л}} = 93,7 - 0,177P_{\text{л}} \quad (1.37)$$

Значно впливають на швидкість руху перешкоди, що розташовані збоку від дороги. Середня різниця швидкостей руху при відстані до дерев 0,65 м та від кромки проїзної частини 3,1 м складає 11,5 км/год [82].

Залежності для визначення середньої швидкості руху транспортного потоку з урахуванням найвагомішого чинника, що її зменшує

На середню швидкість транспортного потоку впливають наступні чинники: ширина смуги руху, склад транспортного потоку, радіуси горизонтальних кривих, поздовжні похили, рівність проїзної частини, коефіцієнт зчеплення, обмеження швидкості.

Середню швидкість транспортного потоку на j -ій ділянці дороги рекомендують визначати як мінімальну із середніх швидкостей, що залежать від таких параметрів [63]:

- інтенсивності руху (V_N);
- радіусу горизонтальної кривої (V_R);
- величини поздовжнього похилу (V_i);
- показника рівності покриття (V_P);
- величини обмеження швидкості (V_O);
- величини середньої швидкості вільного руху ($V_{віль}$).

$$\bar{V}_j = f(V_N, V_R, V_i, V_P, V_O, V_{віль}). \quad (1.38)$$

Мінімальне значення буде відповідати тому показнику, що найбільше впливає на зниження швидкості по відношенню до швидкості вільного руху.

Середню швидкість вільного руху визначають як середньо статистичне значення [63]:

$$V_{віль} = V_{л} \cdot a + V_{в} \cdot b + V_{авт} \cdot c + V_{ан} \cdot d, \quad (1.39)$$

де $V_{л}$, $V_{в}$, $V_{авт}$, $V_{ан}$ – відповідно середні швидкості вільного руху легкових, вантажних автомобілів, автобусів та автопотягів, км/год;

a , b , c , d – частки відповідно легкових, вантажних автомобілів, автобусів та автопотягів в транспортному потоці.

Значення середньої швидкості вільного руху різних типів автомобілів в залежності від категорії дороги наведені в табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Значення середньої швидкості вільного руху різних типів автомобілів в залежності від категорії дороги [63]

Категорія дороги	Кількість смуг руху	Середня швидкість, км/год			
		Легкові	Вантажні	Автобуси	Автопотяги
I а	6	85	65	73,4	70,4
I б	4	83,4	64,7	68,3	66,1
II	2	76,4	62,6	66,0	63,0
III	2	70,6	57,8	61,0	57,6
IV	2	70,4	57,1	61,0	57,2

Середня швидкість руху в залежності від інтенсивності руху визначається як [63]:

$$V_N = (10,47 - \frac{N}{g_{\max}}) + 0,09, \quad (1.40)$$

де N – інтенсивність руху, авт./год.;

0,09 – поправочний коефіцієнт, км/год;

$g_{\max}$ – максимальна щільність транспортного потоку, (авт./км), що визначається як [63]:

$$g_{\max} = \frac{1000}{1 + l_a}, \quad (1.41)$$

де l_a – середня довжина автомобіля в транспортному потоці, що визначається за формулою (1.25).

Середня швидкість руху в залежності від радіуса горизонтальної кривої визначається [63]:

При радіусі горизонтальної кривої до 600 м

$$V_R = \frac{R^{0,25} \cdot V_0}{2}, \quad (1.42)$$

де V_0 – швидкість, що відповідає максимальній пропускній здатності та мінімальному інтервалі при колонному русі автомобілів ,км/год.

При радіусі горизонтальної кривої більше 600 м середня швидкість руху відповідає середній швидкості вільного руху транспортного потоку:

$$V_R = V_{\text{віль}} \quad (1.43)$$

Середня швидкість руху в залежності від поздовжнього похилу на підйомі визначається як [63]:

$$V_i = V_{\text{віль}} \cdot \frac{0.02 \frac{V_0}{V_{\text{віль}}}}{i \frac{V_0}{V_{\text{віль}}}}, \quad (1.44)$$

де i – поздовжній похил в частках одиниці.

Середня швидкість руху на спусках відповідає середній швидкості вільного руху [63]:

$$V_i = V_{\text{віль}}, \quad (1.45)$$

Середня швидкість руху в залежності від рівності покриття визначається за формулою [63]:

$$V_p = V_{\text{віль}} \cdot \frac{50 \frac{V_0}{V_{\text{віль}}}}{p \frac{V_0}{V_{\text{віль}}}}, \quad (1.46)$$

де $V_{\text{віль}}$ – середня швидкість вільного руху, км/год;

V_0 – середня швидкість руху, що відповідає пропускній здатності, км/год.

p – показник поштовхоміру, см/км.

Висновки до розділу 1

На основі проведеного аналізу існуючих наукових досліджень та нормативних документів із визначення максимальної інтенсивності руху зроблені наступні висновки:

1. В існуючих методах визначення максимальної інтенсивності руху за допомогою коефіцієнтів пониження необґрунтовано приймається значення теоретичної пропускної здатності від 750 авт/год до 2000 авт/год, що приводить до значних розбіжностей результатів розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою руху або автомобільною дорогою.

2. У функціональних залежностях «інтенсивність – швидкість» не визначено області їх застосування (введення обмежень по кожній функціональній залежності). Застосування функціональної залежності «інтенсивність – швидкість» буде у межах оптимальної швидкості, що відповідає максимальній інтенсивності руху смугою руху автомобільної дороги при середній швидкості вільного руху автомобілів.

3. Відсутність чіткого поділу транспортного потоку за типами автомобілів недостатньо враховує їх вплив на максимальну інтенсивність руху смугою руху автомобільної дороги.

4. У методі розробленому Сільяновим В.В. деякі понижуючі коефіцієнти впливають на зниження середньої швидкості руху, а не на максимальну інтенсивність руху смугою руху автомобільної дороги, що приводить до результатів, які не достовірно відображають фізичний процес руху транспортного потоку. Недостатньо враховується вплив перехресть та примикань на максимальну інтенсивність автомобільної дороги.

5. Розрахунок максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі існуючими методами показав велику розбіжність її значень при одних і тих же дорожніх умовах. Так, при швидкості 50 км/год максимальна інтенсивність руху змінюється від 420 авт/год до 1976 авт/год .

6. Основним чинником, від якого залежить максимальна інтенсивність руху на автомобільних дорогах є середня швидкість руху транспортного потоку. Середня швидкість руху транспортного потоку залежить від середньої швидкості вільного руху та її зниження від складу транспортного потоку,

радіусу горизонтальних кривих та поздовжнього похилу дороги. Проведений аналіз показав відсутність єдиного підходу до визначення середньої швидкості вільного руху транспортного потоку, яка в різних залежностях змінюється від 52 до 90 км/год.

Для досягнення мети досліджень на основі проведеного аналізу існуючих методів визначення максимальної інтенсивності руху на автомобільних дорогах сформульовані основні задачі дослідження, які приведені у вступі.

7. Результати досліджень даного розділу викладено у наступних публікаціях [22, 23, 27].

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ СМУГОЮ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ З УРАХУВАННЯМ ПЕРЕХРЕЩЕНЬ І ПРИМИКАНЬ

При обґрунтуванні необхідності реконструкції автомобільної дороги, розробці проекту або схеми організації дорожнього руху, розрахунку світлофорного регулювання руху, аналізі стану автомобільних доріг використовується значення максимальної інтенсивності руху.

Великий вплив на інтенсивність руху на автомобільній дорозі мають перехрещення і примикання на одному рівні, оскільки на них виконується перерозподіл транспортних потоків. Тому максимальну інтенсивності руху на автомобільній дорозі потрібно визначати на окремих її ділянках між суміжними перехрещеннями та примиканнями з урахуванням інтенсивності руху на них. Такий підхід допоможе визначити ефективність функціонування окремої ділянки автомобільної дороги та прийняти рішення про повну або часткову реконструкцію автомобільної дороги, зокрема і зміну геометричних параметрів перехрещень та примикань.

Під терміном «ефективність функціонування автомобільної дороги» із забезпеченням максимальної інтенсивності руху мається на увазі, період часу від будівництва до реконструкції, за який інтенсивність руху на цій дорозі досягне максимального значення.

Ефективність функціонування автомобільної дороги або її ділянки характеризується продуктивністю роботи автомобільної дороги. Максимальна продуктивність ($P_{\max}$) залежить від максимальної інтенсивності при середній швидкості руху транспортного потоку на даній ділянці автомобільної дороги.

Отже, продуктивність роботи автомобільної дороги або її ділянки залежить від максимальної інтенсивності руху між суміжними перехрещеннями або примиканнями при середній швидкості руху [72].

$$П = f(N_{\max}, V_{\text{сер}}), \quad (2.1)$$

де $П$ – продуктивність роботи автомобільної дороги;

$N_{\max}$ – максимальна інтенсивність руху на автомобільній дорозі;

$V_{\text{сер}}$ – середня швидкість руху транспортного потоку.

Отже, основною задачею роботи є визначення максимальної інтенсивності руху на ділянках автомобільних доріг між суміжними перехрещеннями та примиканнями на одному рівні.

Для виконання поставленої задачі необхідно дати теоретичне обґрунтування методу розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги та впливу на неї перехрещень і примикань на одному рівні різного типу.

На основі отриманої максимальної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги розробити заходи по її підвищенню та визначити період ефективного функціонування автомобільної дороги.

2.1 Дослідження залежності максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги від середньої швидкості руху та складу транспортного потоку

Рух транспортного потоку на автомобільній дорозі може змінюватись від вільного до колонного при будь-якій його швидкості, тобто кожному значенню швидкості руху можуть відповідати різні режими руху автомобілів. При зростанні інтенсивності та постійній швидкості руху режим руху може змінюватися від вільного до колонного [63].

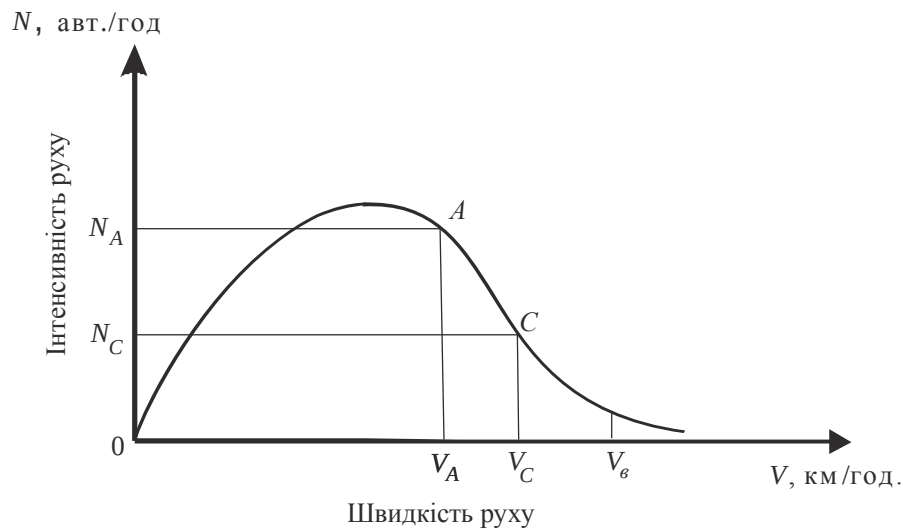


Рисунок 2.1 – Залежність «інтенсивність – швидкість» [63]

З графіку (рис. 2.1) видно, що кожному значенню швидкості руху відповідає певне значення максимальної інтенсивності руху. Наприклад, у точці A максимальна інтенсивність руху N_A відповідає швидкості руху V_A , а в точці C максимальна інтенсивність руху N_C , яка буде меншою за N_A .

Максимальна інтенсивність руху на автомобільній дорозі розраховується на основі максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги, яка зменшується за рахунок перехресть і примикань на одному рівні, що знаходяться на цій дорозі.

Тому в роботі будуть проведені дослідження максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги та визначений вплив перехресть і примикань на одному рівні на максимальну інтенсивність руху на ділянці дороги.

На максимальну інтенсивність руху на дорозі впливають багато чинників: ширина смуги руху, ширина узбіччя, радіус горизонтальної кривої, поздовжній похил, коефіцієнт зчеплення, тип автомобіля (довжина), час реакції водія, склад потоку, відстань видимості, відстань до перешкоди, метеорологічна видимість. Такі з них як ширина проїзної частини, ширина узбіччя, радіус горизонтальної кривої, поздовжній похил, коефіцієнт зчеплення, відстань видимості враховуються при визначенні середньої швидкості руху:

$$\bar{V} = f(c, \Pi, K, U, R_{\text{гор}}, i_n, R_{\text{в}}), \quad (2.2)$$

де c – склад транспортного потоку;

Π – ширина проїзної частини;

K – категорія дороги;

U – ширина узбіччя;

$R_{\text{гор}}$ – радіус горизонтальних кривих у плані;

i_n – поздовжній похил;

$R_{\text{в}}$ – радіус вертикальних кривих.

Максимальна інтенсивність руху на ділянці дороги визначається тільки при колонному русі транспортного потоку. Рух транспортного потоку при зв'язаному або колонному режимі визначається основним рівнянням транспортного потоку, яке характеризує взаємозв'язок між інтенсивністю, швидкістю та щільністю [78]:

$$N = V \cdot g, \quad (2.3)$$

де V – середня швидкість руху транспортного потоку;

g – щільність транспортного потоку при швидкості руху V .

Так як щільність транспортного потоку є кількість автомобілів на ділянці дороги довжиною 1000 м, тобто щільність виражається рівнянням [78]:

$$g = \frac{1000}{D}, \quad (2.4)$$

де D – динамічний габарит.

Тоді основне рівняння транспортного потоку (2.3), що буде відповідати максимальній інтенсивності руху смугою дороги і матиме вигляд:

$$N = \frac{V \cdot 1000}{D}, \quad (2.5)$$

де D – динамічний габарит автомобіля.

Динамічний габарит – це відстань на автомобільній дорозі, що виділяється для автомобіля з умови безпечного руху транспортного потоку і складається з дистанції між автомобілями та довжини автомобіля:

$$D = d + l_a, \quad (2.6)$$

де d – дистанція між автомобілями;

l_a – довжина автомобіля, м.

Використовуючи формулу (2.5) основне рівняння транспортного потоку можна представити у вигляді:

$$N = \frac{V \cdot 1000}{3,6 \cdot (d + l_a)}. \quad (2.7)$$

Мінімальний інтервал між автомобілями при максимальній інтенсивності руху смугою дороги буде становити:

$$\bar{t} = \frac{3600}{N} = \frac{3600 \cdot 3,6 \cdot (d + l_a)}{V \cdot 1000} = 12,96 \cdot \left(\frac{d + l_a}{V}\right). \quad (2.8)$$

Дистанція між автомобілями залежить від багатьох чинників, таких як психофізіологічний стан водія, тип та технічний стан автомобіля, коефіцієнт зчеплення, видимість, погодні умови та параметри дороги і вона вибирається водієм індивідуально, тому при дослідженнях доцільно визначати дистанцію як середнє значення у групі:

$$d = f(\Phi, A, \varphi, S_{\text{вид}}, II), \quad (2.9)$$

де Φ – психофізіологічний стан водія;

A – тип та технічний стан автомобіля;

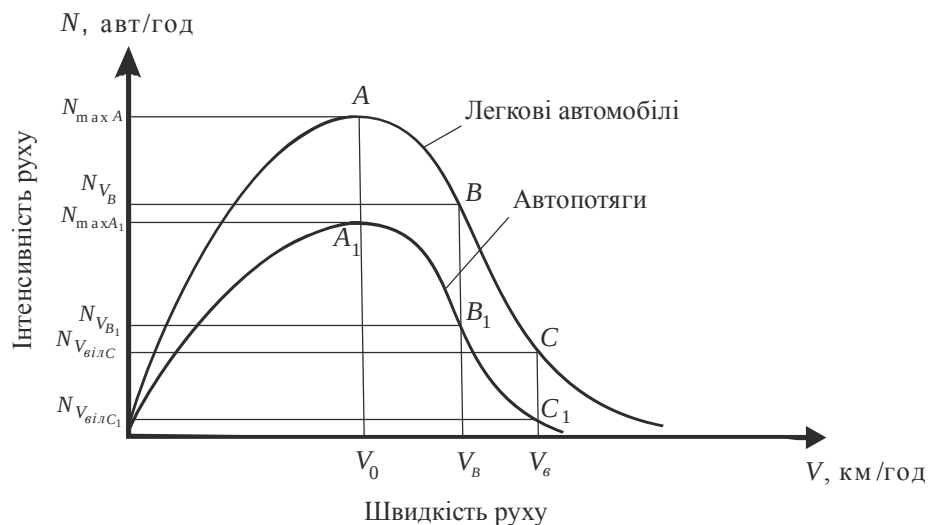
φ – коефіцієнт зчеплення;

$S_{вид}$ – відстань видимості;

Π – параметри дороги.

Оскільки довжина автомобіля впливає на динамічний габарит, а на сьогоднішній день довжина автомобіля у транспортному потоці коливається від 2,5 м до 24 м, то для врахування довжини автомобіля при зв'язаному режимі руху в групі приймається середня довжина автомобіля в групі, а не використовується приведення його до легкового по вазі автомобіля.

З вищенаведеного можна зробити припущення, що при одній і тій же швидкості в залежності від складу транспортного потоку буде різна максимальна інтенсивність руху смугою дороги, що добре видно з графіка залежності «інтенсивність – швидкість» для різного складу транспортного потоку (рис. 2.2).



V_0 – середня швидкість руху, що відповідає пропускній здатності;

V_c – середня швидкість вільного руху;

V_B – середня швидкість руху в точці B та B_1 ;

N_{maxA} – максимальна інтенсивність руху, що відповідає пропускній здатності для легкових автомобілів;

N_{maxA_1} – максимальна інтенсивність руху, що відповідає пропускній здатності для автопотягів;

$N_{v_{ил}C}$ – максимальна інтенсивність руху при швидкості вільного руху для легкових автомобілів;

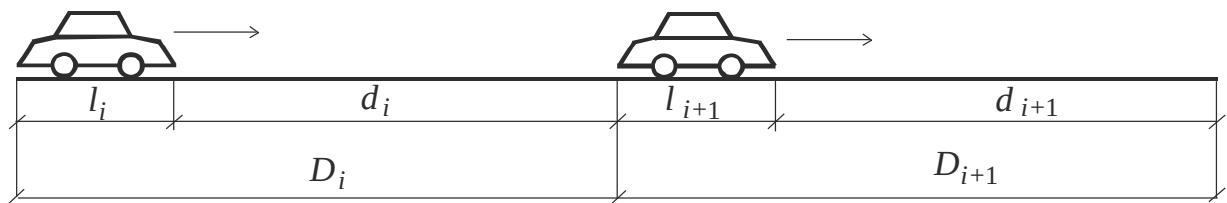
$N_{v_{ил}C_1}$ – максимальна інтенсивність руху при швидкості вільного руху для автопотягів.

Рисунок 2.2 – Графік зміни максимальної інтенсивності руху в залежності від швидкості руху та складу транспортного потоку

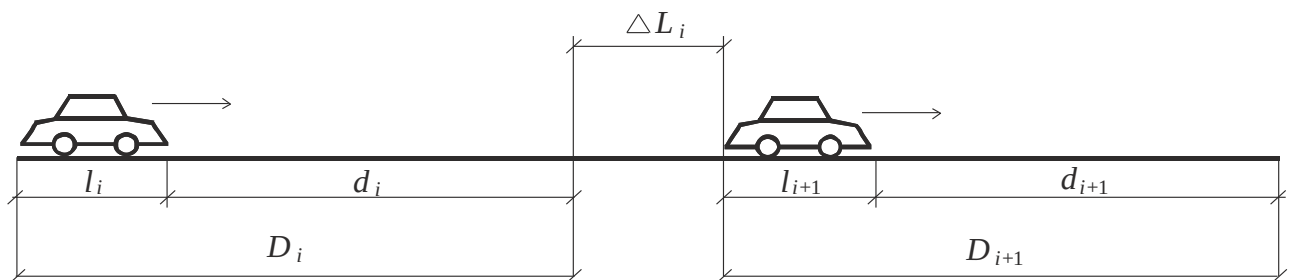
Лінія ABC та лінія $A_1B_1C_1$ характеризують зміну максимальної інтенсивності руху відповідно для автомобілів мінімальної і максимальної довжини та зміну максимальної інтенсивності руху від мінімального до максимального значення при визначеному складі транспортного потоку. Залежності для різного складу транспортного потоку будуть знаходитись між лініями ABC та $A_1B_1C_1$ в зоні, яка обмежена цими лініями та значеннями мінімального та максимального значення.

Для дослідження впливу динамічного габариту на максимальну інтенсивність руху можна розглянути різні варіанти руху автомобілів у групі смугою автомобільної дороги.

1. Автомобіль рухається за автомобілем, витримуючи безпечну дистанцію (рис. 2.3 а)



2. Водій, при тій же швидкості руху витримує більшу дистанцію. В результаті чого зменшується інтенсивність руху (рис. 2.3 б).



3. Водій, при тій же швидкості руху витримує меншу дистанцію. В результаті збільшується інтенсивність руху, але збільшується й небезпека руху автомобіля і рух виконується в зоні ризику (рис. 2.3 в).

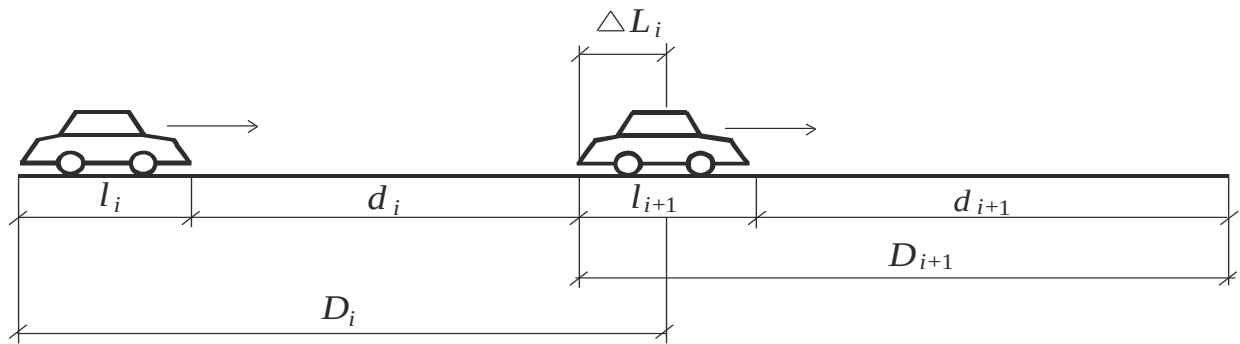


Рисунок 2.3 – Можливі варіанти динамічних габаритів у транспортному потоці при колонному русі автомобілів

В першому випадку між динамічними габаритами вільний простір відсутній ($\Delta L_i = 0$):

$$\Delta L_i = \varphi_i + l_i - D_i = 0, \quad (2.10)$$

де d_i – дистанція між автомобілями;

l_i – довжина i -го автомобіля, м

D_i – динамічний фактор i -го автомобіля

У другому випадку між двома сусідніми динамічними габаритами є вільний простір ($\Delta L_i > 0$):

$$\Delta L_i = \varphi_i + l_i - D_i. \quad (2.11)$$

В третьому випадку виникає накладання динамічних габаритів, коли задній автомобіль зменшує дистанцію ($\Delta L_i < 0$):

$$\Delta L_i = D_i - \varphi_i + l_i. \quad (2.12)$$

Зміну інтенсивності руху при різних величинах динамічних габаритів наведено на рис. 2.4.

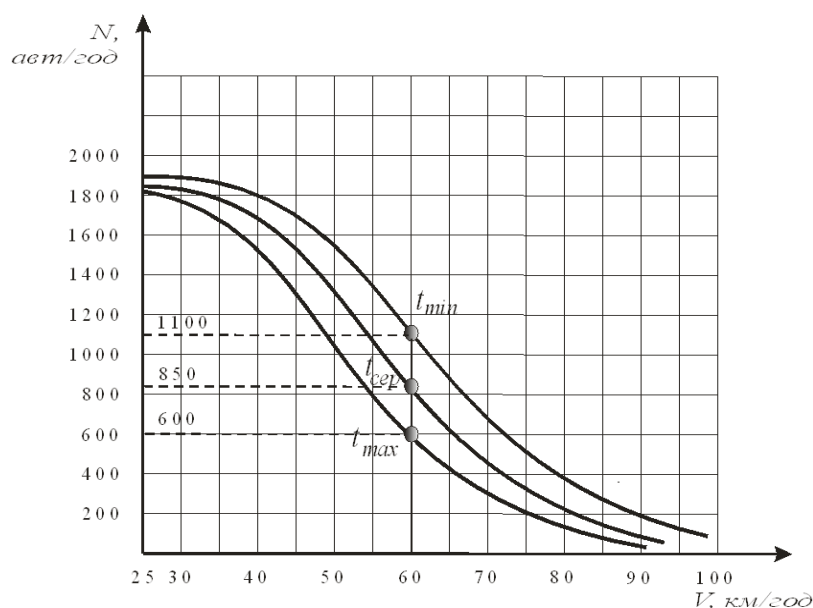


Рисунок 2.4 – Залежність інтенсивності руху від динамічних габаритів при заданій швидкості

Як видно з графіка, при швидкості 60 км/год інтенсивність може становити 600, 850 або 1100 авт/год в залежності від величини динамічного габариту. Відповідно інтервал між автомобілями, що рухаються зі швидкістю 60 км/год може становити 6, 4,2 або 3,3 с. При максимальному інтервалі між автомобілями можливе збільшення інтенсивності руху до інтенсивності руху, що відповідає середньому інтервалу. А при мінімальному інтервалі руху між автомобілями рух транспортного потоку відбувається у зоні ризику. Отже, при дослідженнях необхідно визначати середнє значення інтервалу між автомобілями, що характеризує безпечний рух транспортного потоку і відповідає максимальній інтенсивності руху смугою автомобільної дороги.

В зв'язку з вищенаведеним, встановлено гіпотезу, що максимальна інтенсивність руху смугою дороги змінюється від мінімального до максимального значення в залежності від складу транспортного потоку, який у свою чергу залежить від середньої довжини автомобіля у групі. А також, максимальна інтенсивність руху смугою дороги змінюється від мінімальної до максимальної для визначеного складу транспортного потоку. Отже, залежності «інтенсивність – швидкість» будуть знаходитись у визначеній зоні і матимуть

обмеження по швидкості та середній довжині автомобіля. Ця гіпотеза буде основною задачею проведення досліджень.

Оскільки всі залежності «інтенсивність – швидкість» знаходяться в певній зоні і кожному значенню швидкості відповідає декілька значень інтенсивності, з урахуванням складу транспортного потоку, використовуючи теоретичні аспекти кореляційно-регресійного аналізу, можна стверджувати, що досліджувана залежність «інтенсивність – швидкість» буде представлена рівнянням парної регресії $y=f(x)$. Значення змінної y може залежати відразу від декількох змінних $x_1, x_2, \dots, x_n$.

Тип кореляційної залежності може бути встановлений тільки після обробки достатньої кількості спостережень.

Тіснота зв'язку між двома величинами оцінюється коефіцієнтом кореляції r . Коефіцієнт кореляції лежить в межах $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. При $r=0$ зв'язку немає, Якщо $|r|=1$, то між двома величинами існує функціональний зв'язок.

Коефіцієнт кореляції розраховується [79]:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (2.13)$$

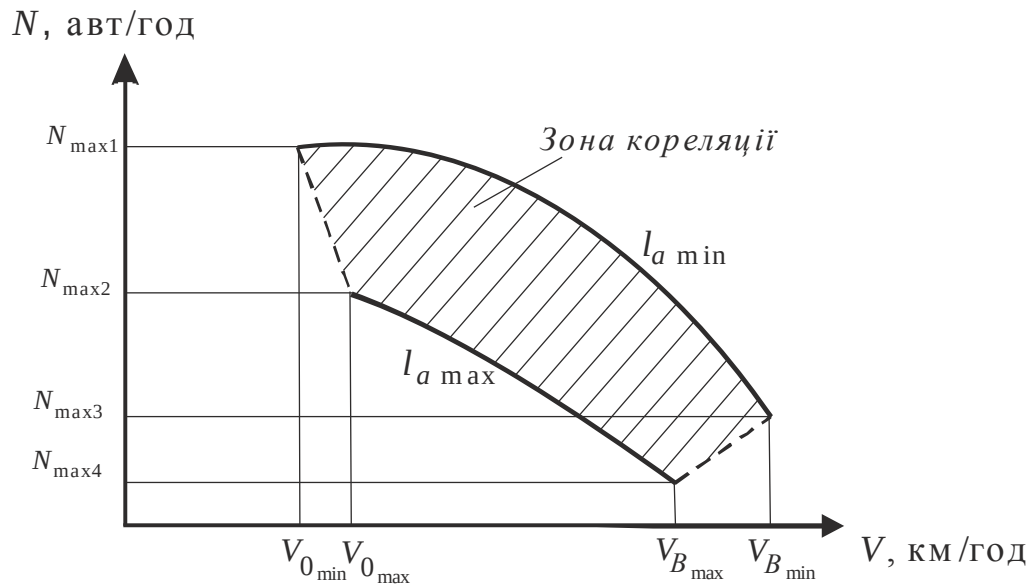
де r_{xy} – коефіцієнт кореляції;

x_i, y_i – поточні значення спостережуваних величин;

$\bar{x}, \bar{y}$ – середні значення цих величин.

Оскільки всі залежності «інтенсивність – швидкість» знаходяться в певній зоні, необхідно визначити границі обмеження цієї зони. Як було встановлено раніше, зона кореляції буде обмежуватися мінімальною та максимальною довжиною автомобіля. Крім того, вона буде мати обмеження по швидкості руху транспортного потоку. Оскільки максимальна інтенсивність руху визначається при колонному русі автомобілів, а перший колонний рух виникає при швидкості вільного руху, можна стверджувати, що швидкість вільного руху буде границею мінімального значення максимальної

інтенсивності руху при визначеному складі транспортного потоку. Границею максимального значення максимальної інтенсивності руху буде значення швидкості при мінімальному інтервалі руху. Зона кореляції залежності «інтенсивність – швидкість» приведена на рис. 2.5.



$N_{\max 1}$ – максимальна інтенсивність руху, що відповідає пропускній здатності при мінімальній довжині автомобіля;

$N_{\max 2}$ – максимальна інтенсивність руху, що відповідає пропускній здатності при максимальній довжині автомобіля;

$N_{\max 3}$ – максимальна інтенсивність руху при середній швидкості вільного руху та мінімальній довжині автомобіля;

$N_{\max 4}$ – максимальна інтенсивність руху при середній швидкості вільного руху та максимальній довжині автомобіля;

$V_{0 \min}$ – середня швидкість руху, що відповідає пропускній здатності при мінімальній довжині автомобіля;

$V_{0 \max}$ – середня швидкість руху, що відповідає пропускній здатності при максимальній довжині автомобіля;

$V_{B \max}$ – середня швидкість вільного руху при максимальній довжині автомобіля;

$V_{B \min}$ – середня швидкість вільного руху при мінімальній довжині автомобіля.

Рисунок 2.5 – Зона кореляції залежності «інтенсивність – швидкість»

Якщо розглядати рух транспортного потоку як систему масового обслуговування, режим руху транспортного потоку може характеризуватися коефіцієнтом завантаження [63]:

$$Q = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (2.14)$$

де λ – параметр потоку (кількість автомобілів, що надійшли на обслуговування);

μ – параметр обслуговування системи (кількість автомобілів, які може обслуговувати система за час t).

Тобто,

$$Q = \frac{N}{N_{\max}}, \quad (2.15)$$

де N – інтенсивність руху;

$N_{\max}$ – максимальна інтенсивність руху смугою дороги.

Використовуючи значення коефіцієнта завантаження системи, можна визначити режим руху транспортного потоку. Значення коефіцієнта завантаження приведені в таблиці 2.1 [63].

Таблиця 2.1 – Коефіцієнт завантаження в залежності від рівня зручності

Рівень зручності	Коефіцієнт завантаження Q
А	0,00-0,25
Б	0,25-0,50
В	0,50-0,75
Г	0,75-0,90
Д	0,90-1,00

2.2 Вплив перехресть і примикань на одному рівні на максимальну інтенсивність руху

Вагомим чинником, який впливає на інтенсивність руху автомобільною дорогою є наявність перехресть і примикань. В залежності від інтенсивності руху на перехрестеннях чи примиканнях буде визначатися і максимальна інтенсивність руху ділянкою автомобільної дороги в цілому.

Перехрещення та примикання залежно від категорії доріг, що перетинаються, типів та необхідності влаштування перехідно-швидкісних смуг (ПШС) поділяються на:

- прості;
- частково каналізовані;
- каналізовані;
- каналізовані з віднесеними поворотами;
- кільцеві;
- на різних рівнях.

Інтенсивність руху на перехрещеннях та 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.

Для визначення впливу перехрещень і примикань на інтенсивність руху на автомобільній дорозі або її ділянці необхідно встановити інтенсивність руху на них.

Основним елементом для визначення інтенсивності руху на перехрещеннях і примиканнях є необхідний час для виконання маневру автомобілем із забезпеченням безпеки руху.

Для визначення інтервалів часу руху на перехрещеннях чи примиканнях досліджені різні маневри автомобілів на простих перехрещеннях та примиканнях:

- поворот праворуч з другорядної дороги на головну;
- поворот ліворуч з другорядної дороги на головну;
- поворот праворуч з головної дороги на другорядну;
- поворот ліворуч з головної дороги на другорядну;
- перетин головної дороги.

2.2.1 Маневрування автомобілів на перехрещеннях та примиканнях

Маневр повороту на перехрещенні або примиканні автомобіль виконує в декілька етапів: зниження швидкості руху від розрахункової до швидкості, з якою виконується маневр, виконання безпосередньо маневру повороту та розгін до швидкості руху на автомобільній дорозі після виконання маневру. Час, необхідний на виконання маневру залежить від конфігурації перехрещення чи примикання та типу самого маневру.

Основною умовою при розрахунку інтенсивності руху на перехрещенні чи примиканні є забезпечення мінімального інтервалу $t_{\min}$ між попереднім та наступним автомобілями у потоці після закінчення виконання маневру по досягненні середньої швидкості руху транспортного потоку. Мінімальний інтервал відповідає середньому інтервалу руху на головній дорозі при середній швидкості руху V_p транспортного потоку при колонному русі.

Середній час розгону до розрахункової швидкості руху визначається:

$$t_p = \frac{V_p}{a}, \quad (2.16)$$

де V_p – розрахункова швидкість руху на головній дорозі;

a – середнє прискорення автомобіля при розгоні.

Задній автомобіль на головній дорозі буде рухатись з часовим інтервалом $t_{\min}$.

Час розгону до розрахункової швидкості V_p забезпечує середній безпечний інтервал $t_{\min}$ з попереднім автомобілем.

Необхідний інтервал часу на головній дорозі для забезпечення безперешкодного руху з другорядної дороги складає середній час розгону до розрахункової швидкості та мінімальний інтервал у потоці при колонному русі:

$$T = t_p + t_{\min}, \quad (2.17)$$

де t_p – мінімальний час розгону до розрахункової швидкості руху V_p , с;
 $t_{\min}$ – мінімальний інтервал руху при максимальній інтенсивності руху
 смугою головної дороги, с.

Інтенсивність руху на головній дорозі для забезпечення безперешкодного руху з другорядної дороги:

$$N_{\text{гол}} \geq \frac{3600}{T}. \quad (2.18)$$

Шлях, який пройде автомобіль за час розгону розраховується як:

$$S = \frac{V_p^2 - V_z^2}{2a}, \quad (2.19)$$

де V_p – розрахункова швидкість руху на головній дорозі;

V_z – розрахункова швидкість руху на з'їзді.

При умові зупинки автомобіля на другорядній дорозі шлях, який пройде автомобіль за час розгону розраховується як ($V_z = 0$):

$$S = \frac{V_p^2}{2a}. \quad (2.20)$$

Маневр виконання повороту ліворуч з другорядної дороги на головну ідентичний маневру при виконанні повороту праворуч з другорядної дороги на головну. Тому розрахунок мінімального часу розгону до середньої швидкості руху на головній дорозі виконується по формулі (2.16).

Поворот праворуч із головної дороги на другорядну

Рух на головній дорозі, що розглядається – колонний з середнім мінімальним інтервалом $t_{\min}$. При виконанні повороту праворуч з головної

дороги автомобіль знижує швидкість руху від розрахункової V_p до швидкості руху на з'їзді V_3 .

Час гальмування автомобіля до швидкості руху при виконанні маневру повороту праворуч із головної дороги розраховується:

$$t_{гал} = \frac{V_p - V_3}{a_{гал}}, \quad (2.21)$$

де V_p – середня швидкість руху транспортного потоку на головній дорозі, м/с;

V_3 – розрахункова швидкість руху на з'їзді, м/с;

$a_{гал}$ – середнє прискорення при гальмуванні, м/с².

Шлях, який проходить автомобіль, що виконує маневр повороту з головної дороги за час гальмування розраховується як (2.19):

$$S = \frac{V_p^2 - V_3^2}{2a_{гал}}.$$

Шлях, що проходить автомобіль, який рухався наступним у транспортному потоці на головній дорозі за час гальмування автомобіля, що виконує маневр становить:

$$S_2 = V_p \cdot t_{гал}. \quad (2.22)$$

Шлях, що проходить автомобіль, який рухався наступним у транспортному потоці на головній дорозі за час рівний мінімальному інтервалу між автомобілями на головній дорозі $t_{\min}$:

$$S_3 = V_p \cdot t_{\min}. \quad (2.23)$$

Умова виконання автомобілем безпечного повороту праворуч з головної дороги:

$$S_2 \leq S_3, \quad (2.24)$$

або

$$V_p \cdot t_{\text{зап}} \leq V_p \cdot t_{\text{мін}}. \quad (2.25)$$

При цьому інтенсивність руху на головній дорозі має бути:

$$N \leq \frac{3600}{t_{\text{мін}}}. \quad (2.26)$$

Поворот ліворуч з головної дороги на другорядну без зупинки виконується ідентично повороту праворуч з головної дороги.

Поворот ліворуч з головної дороги на другорядну із зупинкою

При умові неможливості виконати поворот ліворуч з головної дороги на другорядну без зупинки – маневр складається з двох етапів. На першому етапі автомобіль гальмує до повної зупинки ($V = 0$). Зменшення швидкості руху виконується від розрахункової швидкості руху V_p до повної зупинки V_0 . На другому етапі автомобіль виконує поворот на другорядну дорогу з проходженням відстані, що складає ширину смуги руху головної дороги та відстані рівній довжині автомобіля.

Час необхідний для гальмування від середньої швидкості руху на головній дорозі до зупинки (2.21):

$$t_{гал} = \frac{V_p - V_0}{a_{гал}},$$

де V_p – середня швидкість руху автомобіля на головній дорозі, м/с;

V_0 – швидкість руху автомобіля при зупинці ($V_0 = 0$), м/с;

$a_{гал}$ – середнє прискорення при гальмуванні автомобіля, м/с².

Шлях, що проходить автомобіль при виконанні безпосередньо повороту розраховується як:

$$S_{кр} = \frac{\pi R \alpha}{180}, \quad (2.27)$$

де R – радіус повороту, м;

α – кут повороту, град.

Час необхідний для виконання цього етапу маневру (2.21):

$$t_{кр} = \frac{V_{кр} - V_0}{a_p},$$

де $V_{кр}$ – середня швидкість руху автомобіля при виконанні маневру повороту, м/с;

a_p – середнє прискорення при розгоні автомобіля на кривій, м/с².

Час необхідний для проходження довжини автомобіля:

$$t_a = \frac{l_a}{V_{кр}}, \quad (2.28)$$

де l_a – середня довжина автомобіля, м;

$V_{кр}$ – середня швидкість руху автомобіля при виконанні маневру повороту, м/с.

Загальний час виконання маневру складає час при гальмуванні від середньої швидкості руху на головній дорозі до зупинки, час на проїзд кривої з'їзду та час на проїзд власної довжини:

$$T = t_{гал} + t_{кр} + t_a. \quad (2.29)$$

Перетин автомобілем головної дороги

У випадку перетину головної дороги автомобіль проходить відстань рівну ширині проїзної частини та відстань рівну довжині автомобіля.

Відстань проїзду складає ширину проїзної частини та довжину автомобіля:

$$S = B + l_a, \quad (2.30)$$

де B – ширина проїзної частини, м;

l_a – довжина автомобіля, м.

Використовуючи формулу (2.20), кінцева швидкість руху автомобіля при виконанні маневру перетину головної дороги V_1 розраховується:

$$V_1 = \sqrt{2Sa}, \quad (2.31)$$

де V_1 – кінцева швидкість руху при виконанні маневру, м/с;

V_2 – початкова швидкість руху при виконанні маневру ($V_2 = 0$).

З іншого боку, швидкість руху розраховується можна визначити за формулою:

$$V_1 = a \cdot t, \quad (2.32)$$

де t – час необхідний для перетину проїзної частини, с (2.21).

Звідки, час необхідний для перетину проїзної частини розраховується як:

$$t = \frac{\sqrt{2Sa}}{a}. \quad (2.33)$$

2.3 Маневри автомобілів на перехрещеннях та примиканнях на одному рівні при наявності перехідно-швидкісних смуг

2.3.1 Поворот праворуч з головної дороги на другорядну при наявності перехідно-швидкісних смуг

Виконання маневру характеризується часом необхідним для переходу автомобіля із основної смуги на перехідно-швидкісну. Відстань переходу залежить від радіуса кривої траєкторії, по якій виконується перехід та ширини проїзної частини:

$$S = 2\sqrt{R \cdot b}, \quad (2.34)$$

де R – мінімальний радіус кривої траєкторії руху автомобіля при зміні смуги руху для швидкості V_p , м;

b – ширина смуги руху, м.

Інтервал часу необхідний для виконання маневру повороту:

$$t = \frac{2\sqrt{R \cdot b}}{V_p}, \quad (2.35)$$

де V_p – середня швидкість руху на головній дорозі при колонному русі автомобілів, м/с.

Така ж величина інтервалу і при виконанні поворотів ліворуч та праворуч з другорядної дороги на головну.

2.3.2 Поворот ліворуч з головної дороги при наявності перехідно-швидкісних смуг

У випадку виконання маневру повороту з головної дороги час необхідний для зниження швидкості при виконанні маневру розраховується за формулою (2.21), а час для перетину головної дороги рівний часу перетину головної дороги простих перехресть у випадку зупинки.

Математичні залежності для розрахунку інтервалу на головній дорозі та часу для виконання маневрів при визначенні максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Інтервал руху на головній дорозі та час для виконання маневрів при визначенні максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях

№п/п	Маневр автомобіля	Час на виконання маневру(інтервал)	Інтервал на головній дорозі
1	2	3	4
Перехрещення без перехідно-швидкісних смуг			
1	Поворот праворуч з головної дороги	$t_{\text{зал}} = \frac{V_p - V_z}{\bar{a}}$	$T = t_{\min}$
2	Поворот ліворуч з головної дороги	$t_{\text{зал}} = \frac{V_p - V_z}{\bar{a}}$	$T = t_{\min}$
3	Поворот праворуч з другорядної дороги	$t_p = \frac{V_p}{\bar{a}}$	$T = t_p + t_{\min}$
4	Поворот ліворуч з другорядної дороги	$t_p = \frac{V_p}{\bar{a}}$	$T = t_p + t_{\min}$
5	Перетин головної дороги	$t_{\text{пер}} = \frac{\sqrt{2(B+l_a)a}}{a}$	$T = t_{\min}$
Перехрещення із перехідно-швидкісними смугами			
1	Поворот праворуч з головної дороги	$t_{\text{зс}} = \frac{2\sqrt{Rb}}{V_p}$	$T = t_{\min}$
2	Поворот ліворуч з головної дороги	$t_{\text{зс}} = \frac{2\sqrt{Rb}}{V_p}$	$T = t_{\min}$

Кінець табл. 2.2

1	2	3	4
3	Поворот праворуч з другорядної дороги	$t_{3c} = \frac{2\sqrt{Rb}}{V_p}$	$T = 2t_{\min}$
4	Поворот ліворуч з другорядної дороги	$t_{3c} = \frac{2\sqrt{Rb}}{V_p}$	$T = 2t_{\min}$
5	Перетин головної дороги	$t_{nep} = \frac{\sqrt{2(B+l_a)a}}{a}$	$T = t_{\min}$

Примітка: V_p – розрахункова швидкість руху смугою автомобільної дороги, м/с; V_s – швидкість руху на з'їзді при виконанні маневру, м/с; a – середня величина прискорення, м/с²; B – ширина проїзної частини дороги, м; R – радіус з'їзду, м; b – ширина смуги руху дороги, м; $t_{\min}$ – середній безпечний інтервал при колонному русі автомобілів для даної середньої швидкості руху, с; t_p – час необхідний для розгону до розрахункової швидкості руху V_p на автомобільній дорозі, с.

2.4 Розрахунок максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях

В перерізах автомобільної дороги до і після перехрещень або примикань максимальна інтенсивність руху не повинна перевищувати значення максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги для даної середньої швидкості та складу транспортного потоку на головній дорозі.

Максимальна інтенсивність руху на перехрещеннях та примиканнях характеризується максимальною інтенсивністю руху смугою головної дороги, а не інтенсивністю руху на другорядній дорозі, на відміну від існуючого методу.

Інтенсивність руху автомобілів на головній дорозі на підході до перехрещення або примикання має інтервал руху, що відповідає максимальному інтервалу при виконанні маневрів на перехрещеннях та примиканнях ($t_{\max}$).

Тоді інтенсивність руху на головній дорозі з урахуванням інтервалу руху $t_{\max}$ буде становити:

$$N = \frac{3600}{t_{\max}}, \quad (2.36)$$

$t_{\max}$ – інтервал руху, що відповідає максимальному інтервалу необхідному для виконання маневрів на перехрещеннях та примиканнях.

Максимальний інтервал складається із часу розгону автомобіля або гальмування та мінімального інтервалу при даній швидкості руху і визначеному складі транспортного потоку на головній дорозі.

Мінімальний інтервал руху на головній дорозі (безпечний інтервал) визначається для максимальної інтенсивності руху при даній швидкості та визначеному складі транспортного потоку.

Максимальна інтенсивність руху розраховується для прямого і зворотного напрямків руху на головній дорозі. Сумарна інтенсивність і буде максимальною інтенсивністю руху на автомобільній дорозі до і після перехрещення або примикання.

$$N_{\max} = N_{np} + N_{звор}, \quad (2.37)$$

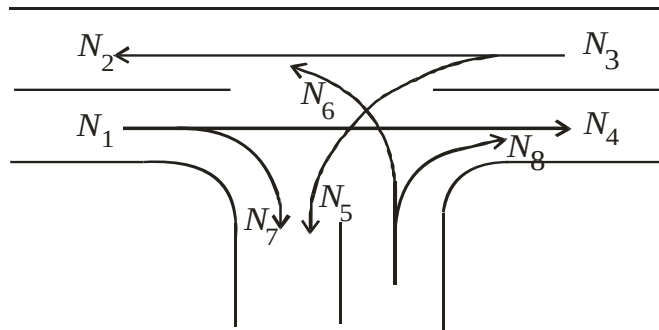
де N_{np} – максимальна інтенсивність руху у прямому напрямку;

$N_{звор}$ – максимальна інтенсивність руху у зворотному напрямку.

Інтенсивність руху в прямому і зворотному напрямку повинна забезпечити в'їзд, виїзд та перетин головної дороги.

В таблиці 2.3 показано розрахунок максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях різних типів.

Просте примикання



$$N_1 = \frac{3600}{t_{cep}} - \left(N_5 + N_6 + N_8 - N_7 \right)$$

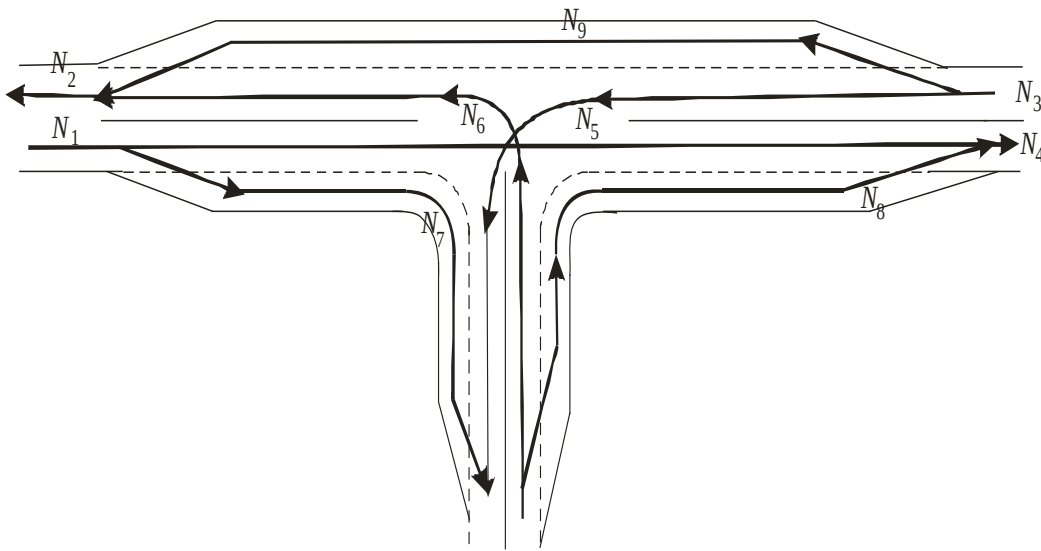
$$N_3 = \frac{3600}{t_{cep}} - \left(N_6 - N_5 \right)$$

$$N_2 = N_3 + N_6$$

$$N_4 = N_1 + N_8$$

$$t_{cep} = \frac{t_p + t_{min}}{2}$$

Примикання з перехідно-швидкісними смугами



$$N_1 = \frac{3600}{t_{cep}} - \left(N_5 + N_6 + N_8 - N_7 \right)$$

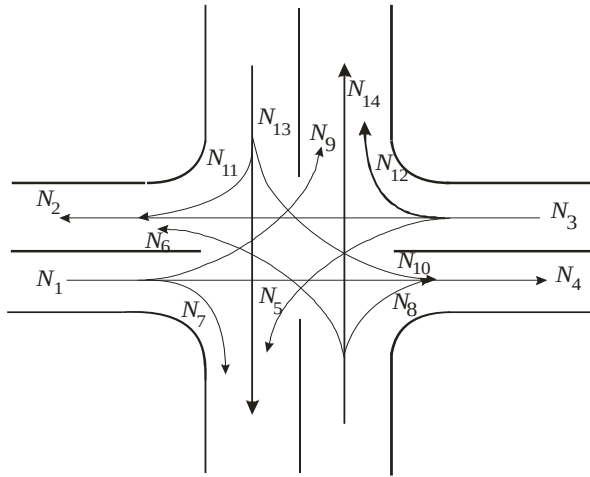
$$N_3 = \frac{3600}{t_{cep}} - \left(N_6 - N_5 \right)$$

$$N_2 = N_9 + N_6$$

$$N_4 = N_1 + N_8$$

$$t_{cep} = t_{min}$$

Просте перехрещення



$$N_1 = \frac{3600}{t_{cep}} - (N_{13} + N_6 + N_5 + N_{14} + N_{10} + N_8 - N_7 - N_9)$$

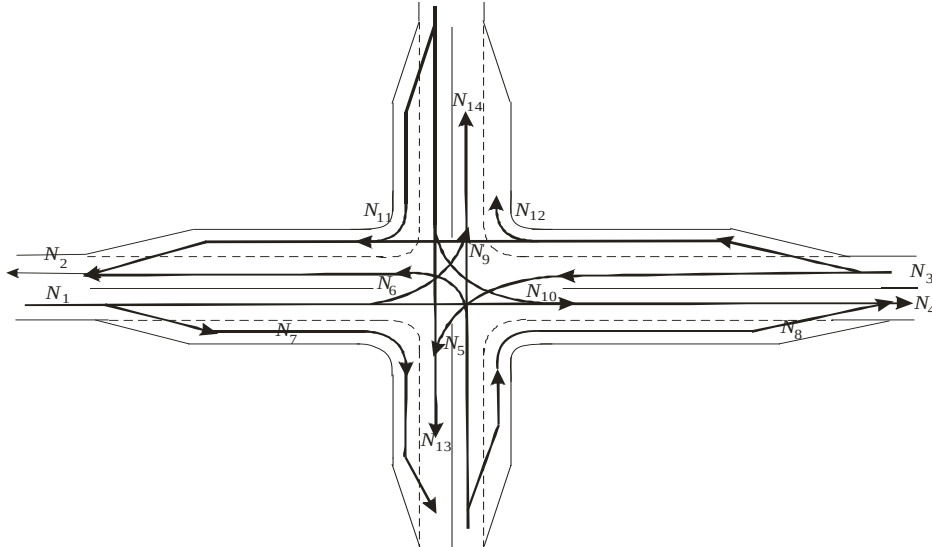
$$N_3 = \frac{3600}{t_{cep}} - (N_{10} + N_{11} + N_6 + N_{13} + N_9 + N_{14} - N_{12} - N_5)$$

$$N_2 = N_3 + N_{11} + N_6$$

$$N_4 = N_1 + N_8 + N_{10}$$

$$t_{cep} = \frac{t_p + t_{min}}{2}$$

Перехрещення з перехідно-швидкісними смугами



$$N_1 = \frac{3600}{t_{cep}} - (N_{13} + N_6 + N_5 + N_{14} + N_{10} + N_8 - N_7 - N_9)$$

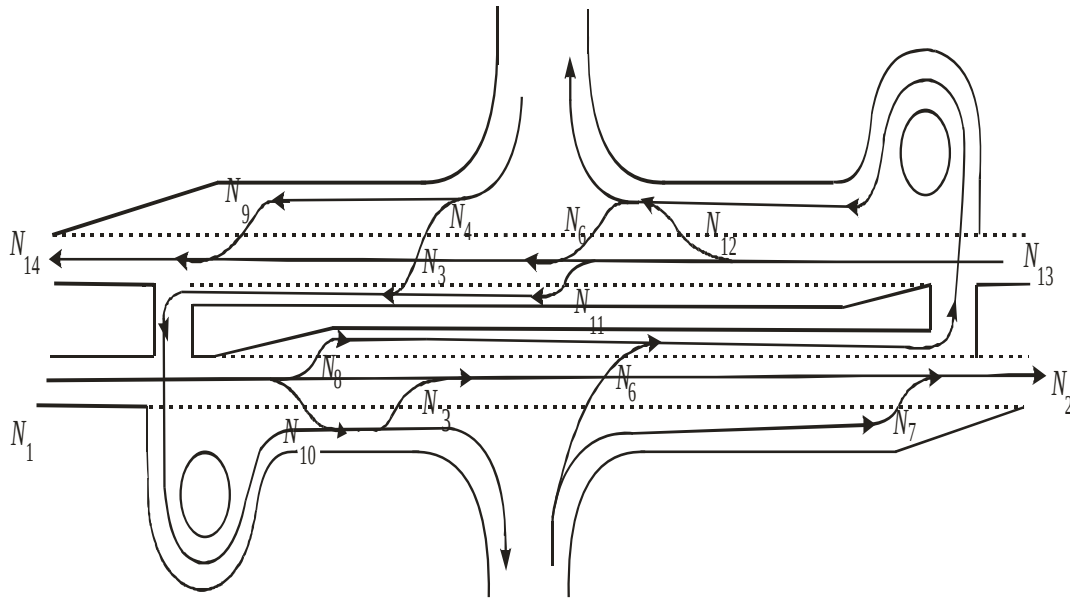
$$N_3 = \frac{3600}{t_{cep}} - (N_{10} + N_{11} + N_6 + N_{13} + N_9 + N_{14} - N_{12} - N_5)$$

$$N_2 = N_3 + N_{11} + N_6$$

$$N_4 = N_1 + N_8 + N_{10}$$

$$t_{cep} = t_{min}$$

Перехрещення з віднесеними з'їздами для виконання поворотів ліворуч



$$N_1 = 2N_{\max} - \left(\frac{(N_4 + N_3 + N_{11} + N_6 + N_5)}{2} - N_{10} - N_7 - N_3 \right)$$

$$N_2 = N_1 + N_7 + N_3$$

$$N_{13} = 2N_{\max} - \left(\frac{(N_8 + N_5 + N_6 + N_4 + N_3)}{2} - N_{12} - N_9 - N_6 \right)$$

$$N_{14} = N_{13} + N_9 + N_6$$

$$t_{\text{cep}} = t_{\min}$$

Алгоритм розрахунку максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях на одному рівні представлено у вигляді блок-схеми (рис. 2.6).

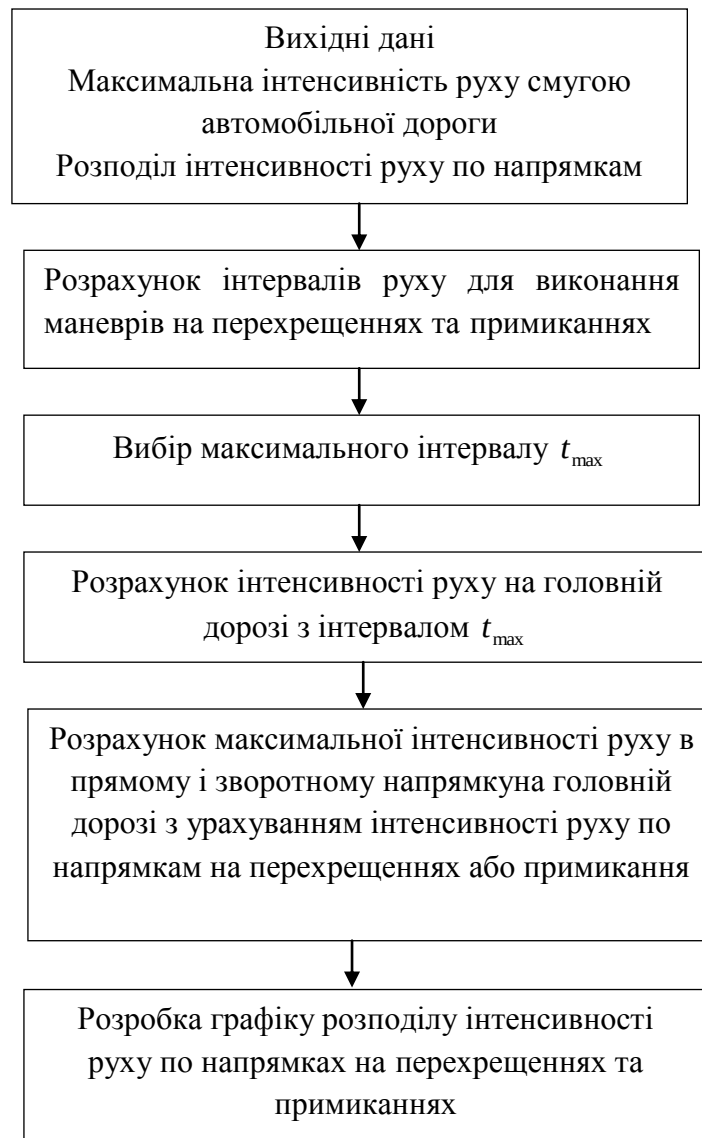


Рисунок 2.6 – Алгоритм розрахунку максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях і примиканнях

Висновки до розділу 2

1. Визначено зміну максимальної інтенсивності руху смугою руху автомобільної дороги від максимального до мінімального значення в залежності від середньої швидкості руху транспортного потоку, середньої

довжини автомобіля. Максимальне значення інтенсивності руху смугою автомобільної дороги відповідає інтенсивності руху при мінімальному інтервалі руху автомобілів. Цей інтервал відповідає максимуму залежності «інтенсивність – швидкість». Мінімальне значення максимальної інтенсивності руху смугою відповідає інтенсивності колонного руху при середній швидкості вільного руху автомобілів.

2. Середня швидкість транспортного потоку в конкретних дорожніх умовах залежить від таких чинників як категорія дороги, ширина проїзної частини, ширина узбіччя, коефіцієнт зчеплення, радіуси горизонтальних кривих, поздовжні похили, радіуси вертикальних кривих. А оскільки середня швидкість руху є одним із чинників, від якого залежить максимальна інтенсивність руху на автомобільній дорозі постала задача проведення досліджень середньої швидкості руху транспортного потоку на дорогах різних категорій для різних типів автомобілів.

3. Розроблено математичні моделі маневрів автомобілів на перехрещеннях та примиканнях автомобільних доріг різних конфігурацій. Розрахована на основі цих моделей максимальна інтенсивність руху на перехрещеннях і примиканнях автомобільних доріг може бути збільшена за рахунок зміни їх параметрів (улаштування перехідно-швидкісних смуг, додаткових смуг для виконання лівого повороту або віднесених лівих поворотів).

4. Розроблено алгоритми розрахунку максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях і примиканнях на одному рівні різного типу (без перехідно-швидкісних смуг, з перехідно-швидкісними смугами та віднесеними лівими поворотами) з урахуванням розрахункового інтервалу на головній дорозі, що дає можливість розрахунку максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях і примиканнях на одному рівні із забезпеченням безпечного виконання маневрів.

5. Результати досліджень даного розділу викладено у наступних публікаціях [24, 25, 26, 31, 33].

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ «ІНТЕНСИВНІСТЬ – ШВИДКІСТЬ» ТА СЕРЕДНЬОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

В умовах високої інтенсивності руху на автомобільних дорогах великого значення набувають питання оцінки транспортно-експлуатаційних якостей доріг з позицій пропуску потоків автомобілів. Середня швидкість руху є основним параметром для оцінки транспортно-експлуатаційного стану автомобільної дороги. Швидкість руху можна встановити шляхом безпосередніх вимірів на окремих ділянках дороги або шляхом розрахунків.

Для визначення максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі потрібно визначити середню швидкість руху транспортного потоку на всіх ділянках автомобільної дороги. Максимальна інтенсивність руху прямо пропорційно залежить від середньої швидкості транспортного потоку.

3.1 Експериментальні дослідження залежності «інтенсивність – швидкість»

3.1.1 Планування експериментальних досліджень залежності «інтенсивність – швидкість»

Для встановлення залежності «інтенсивність – швидкість» необхідно визначити інтенсивність руху різних типів автомобілів при колонному режимі руху. Для виконання поставленої задачі потрібно встановити середню довжину автомобіля у групі, середню швидкість руху групи та середній інтервал руху між автомобілями у групі.

Експериментальні дослідження проводилися на горизонтальних прямолінійних ділянках автомобільних доріг різних категорій із сухим рівним і шорстким покриттям за сприятливих погодних умов та при наявності

колонного руху автомобілів. Транспортний потік складався з окремих груп автомобілів: легкових, вантажних та автопотягів. Всі характеристики визначались на одній смузі руху. На ділянці були відсутні перешкоди на узбіччях.

Експериментальні дослідження проводилися за допомогою цифрової відеокамери, яка встановлювалася на штативі на відстані, що забезпечує видимість ділянки дороги, на якій виконувався експеримент. Перед початком зйомки перевірялася розмітка проїзної частини для встановлення відстаней необхідних для обробки матеріалу зйомки.

Відзнятий матеріал записується на носій інформації (CD або DVD диск, або Flash-карту), за допомогою якого матеріал зйомки можна обробляти на моніторі комп'ютера. На екрані, окрім відеофільму, присутній секундомір, за допомогою якого встановлюється інтервал руху між автомобілями одного типу. Для визначення інтервалу слідування фіксувалося положення передніх коліс кожного автомобіля у групі при входженні на дослідну ділянку. Також визначалися тип автомобілів та кількість автомобілів у групі на дослідній ділянці для встановлення середньої довжини автомобіля. На основі цих даних визначається середня швидкість руху автомобілів та інтенсивність руху при цій швидкості. Дослідження проводились на автомобільних дорогах Київ – Бориспіль км 21+500, обхід м. Бровари на ділянці від перехрещення з автомобільною дорогою Київ – Суми до примикання обхідна дорога – Бориспіль, Козелець – Бобровиця км 15+000, Ріпки – Любеч км 10+000, Київ – Суми від перетину з дорогою Прилуки – Ніжин до перетину з дорогою Ічня – Прилуки, вулиці м. Київ.

Дані експериментального дослідження інтенсивності руху транспортного потоку для різних типів автомобілів представлені в додатку А.

3.1.2. Визначення необхідної кількості спостережень і статистична обробка результатів натурних досліджень

При проведенні експериментальних досліджень залежності «інтенсивність – швидкість» встановлюємо необхідну і достатню кількість спостережень, яка є мінімальною [16, 18, 54, 79]:

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (3.1)$$

де t – показник достовірності (для 99,7% вірогідності рівний 2);

σ – середньоквадратичне відхилення вимірювань;

Δ – половина класу вимірювань.

В межах $M \pm \sigma$ точність буде 68,3%, при $M \pm 2\sigma$ точність результатів буде 95,4%, а при $M \pm 3\sigma$ точність результатів буде 99,73%.

Для отримання необхідної кількості вимірів інтенсивності та швидкості необхідно провести виміри деякої кількості замірів значень даних характеристик. Ця кількість визначається з поля допуску, для якого розраховуються границі допуску t_1 та t_2 [79]:

$$t_1 = \bar{x} - lS, \quad (3.2)$$

$$t_2 = \bar{x} + lS, \quad (3.3)$$

де l – коефіцієнт, що відповідає кількості замірів надійності для площі генеральної кривої;

S – середнє квадратичне відхилення.

Різниця границь поля допуску t_1 і t_2 дає можливість визначити середньоквадратичне відхилення σ для розрахунку необхідної кількості замірів[79]:

$$\sigma = \frac{t_2 - t_1}{6}. \quad (3.4)$$

Порядок розрахунку кількості замірів приведено в додатку А.

Таблиця 3.1 – Розрахунок необхідної кількості замірів

Тип автомобіля	$k=N-1$	l	x	S	t_2	t_1	t_2-t_1	n
Легкові	73	1,86	49,68	13,49	74,77	24,59	50,18	45
Вантажні	30	2,02	50,83	12,04	71,6	26,5	45,1	36
Автобуси і автопотяги	45	1,91	49,84	12,13	73,01	26,67	46,34	38

3.2 Обробка експериментальних даних залежності «інтенсивність – швидкість»

Залежність «інтенсивність – швидкість» визначається окремо для легкових, вантажних автомобілів та автопотягів.

На основі отриманих замірів проводився підбір кривої з допомогою електронних таблиць Excel та системи програмування Mathcad. Необхідно знайти функцію $N = f(V)$, значення якої при $V = V_1, V_2, \dots, V_n$ найменше відрізнялись від експериментальних значень $N_1, N_2, \dots, N_n$. Для цього було розглянуто лінії тренду (лінійні фільтрації) у вигляді різних математичних кривих.

Лінія тренда виходить найбільш точною, коли її величина достовірності апроксимації R близька до одиниці. При апроксимації даних за допомогою лінії тренда значення величини достовірності апроксимації розраховується додатком Excel автоматично.

Найбільш близькою до одиниці величина достовірності апроксимації спостерігається при побудові лінії тренда полінома другого степеня.

Результати обробки експериментальних досліджень функціональної залежності «інтенсивність – швидкість» для різних типів автомобілів у вигляді графіків представлені на рис. 3.1 – 3.3.

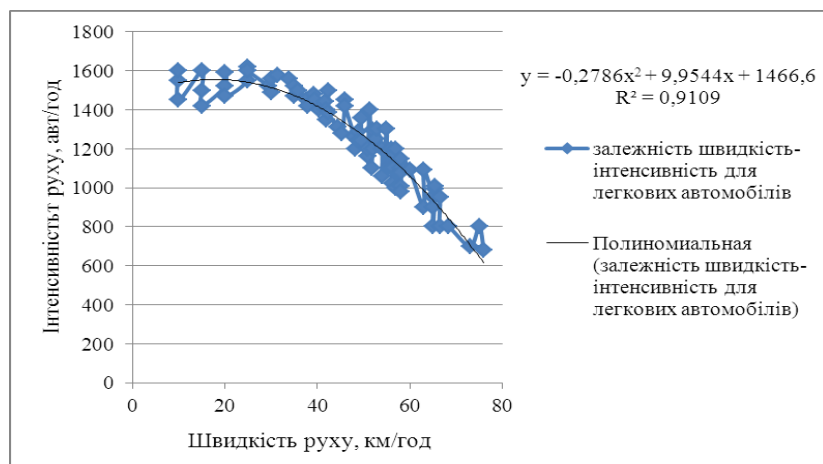


Рисунок 3.1 – Залежність «інтенсивність – швидкість» для легкових автомобілів

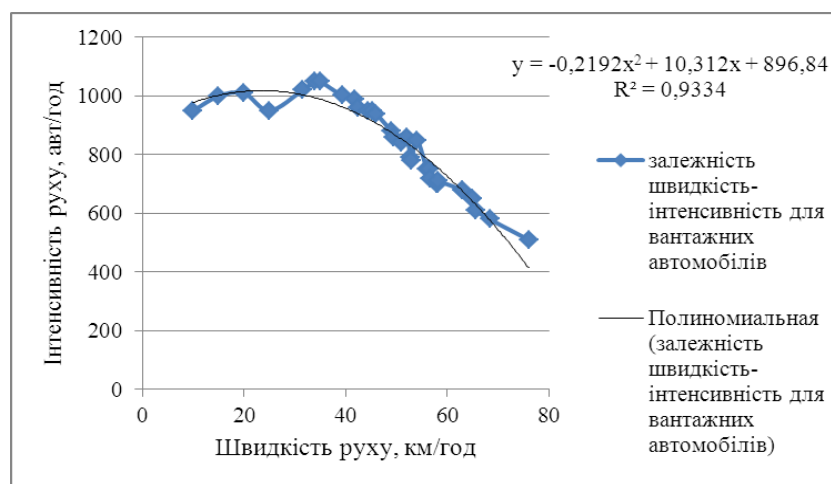


Рисунок 3.2 – Залежність «інтенсивність – швидкість» для вантажних автомобілів

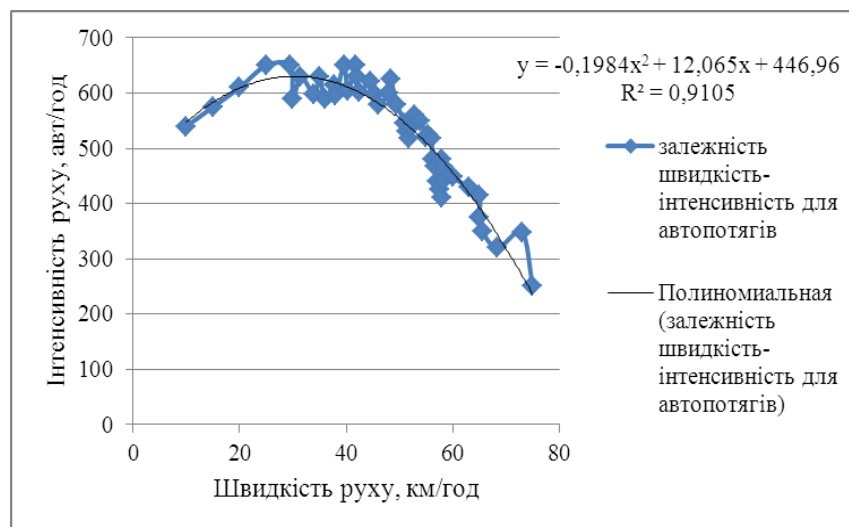


Рисунок 3.3 – Залежність «інтенсивність – швидкість» для автопотягів

На основі проведеної обробки експериментальних даних отримана залежність «інтенсивність – швидкість» як поліноміальна лінія другого степеня. Рівняння, що описує залежність «інтенсивність – швидкість» має вигляд:

$$N = Ax^2 + Bx + C, \quad (3.5)$$

де A, B, C – коефіцієнти, що залежать від середньої довжини автомобіля.

Для отримання рівняння залежності «інтенсивність – швидкість» у загальному вигляді потрібно обробити отримані дані для різних типів автомобілів. Для цього необхідно знайти залежність, яка б описувала зміну кожного коефіцієнта в залежності від типу автомобіля. Вихідні дані для визначення коефіцієнтів A, B і C представлені в табл. 3.2 – 3.4. Результати обробки вихідних даних з допомогою електронних таблиць Excel приведені на рис. 3.4 – 3.6.

Таблиця 3.2 – Залежність коефіцієнта A від довжини автомобіля

Довжина автомобіля, м	Коефіцієнт A
4,5	-0,2786
7	-0,2192
12	-0,1984

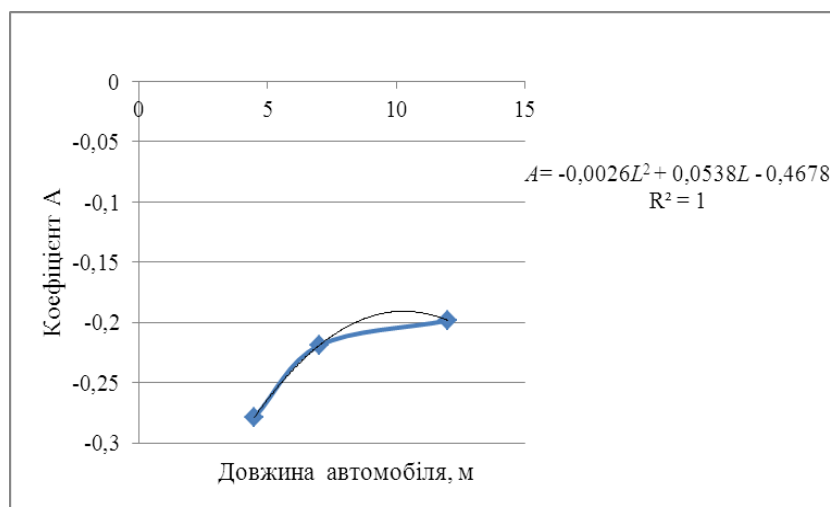


Рисунок 3.4 – Графік залежності коефіцієнта A від довжини автомобіля

Таблиця 3.3– Залежність коефіцієнта В від довжини автомобіля

Довжина автомобіля, м	Коефіцієнт В
4,5	9,9544
7	10,312
12	12,065

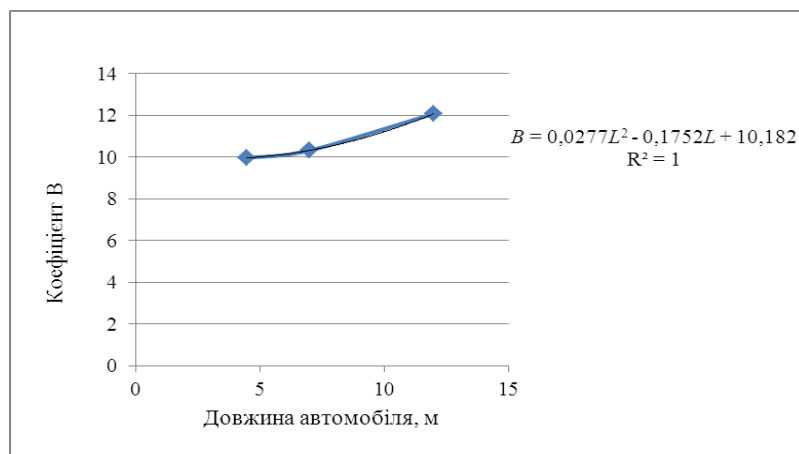


Рисунок 3.5 – Графік залежності коефіцієнта В від довжини автомобіля

Таблиця 3.4 – Залежність коефіцієнта С від довжини автомобіля

Довжина автомобіля, м	Коефіцієнт С
4,5	1466
7	896,8
12	446,96

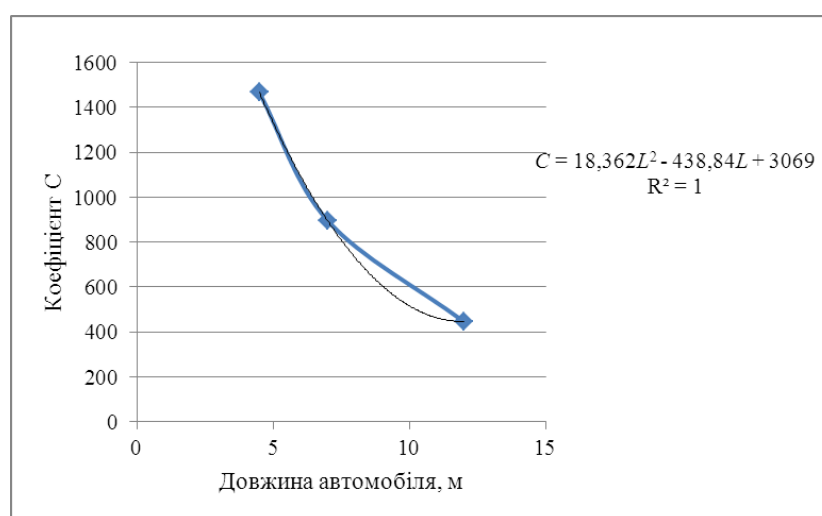


Рисунок 3.6 – Графік залежності коефіцієнта С від довжини автомобіля

Коефіцієнти A , B , C характеризують середню довжину автомобіля у транспортному потоці і представлені наступними залежностями:

$$A = -0,0026 \cdot l_a^2 + 0,0538 \cdot l_a - 0,4678, \quad (3.6)$$

$$B = 0,0277 \cdot l_a^2 - 0,1752 \cdot l_a + 10,182, \quad (3.7)$$

$$C = 18,362 \cdot l_a^2 - 438,84 \cdot l_a + 3069. \quad (3.8)$$

3.2.1 Визначення достовірності отриманих результатів дослідження

Достовірність отриманих результатів необхідно перевірити за допомогою коефіцієнта кореляції [79].

Коефіцієнт кореляції вказує на тісноту зв'язку між двома випадковими величинами і змінюється від -1 до $+1$. При прямій лінійній залежності, тобто коли із зростанням значень x_i збільшуються значення y_i , $c_{xy} = +1$. При зворотній лінійній залежності, тобто коли із зростанням значень x_i , значення y_i зменшуються $c_{xy} = -1$. Якщо x_i і y_i не залежні, то $c_{xy} = 0$.

Детальний розрахунок коефіцієнта кореляції для різних типів автомобілів наведено у додатку А.

Після того, як встановлено коефіцієнт кореляції, необхідно оцінити, суттєве відхилення отриманого коефіцієнта кореляції від нуля.

Для вирішення даної задачі застосовувався спосіб Фішера. Випадкова величина Z підпорядковується нормальному закону з середнім квадратичним відхиленням σ_Z . [79]

$$Z = \frac{1}{2} \lg \frac{1+r}{1-r}. \quad (3.9)$$

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}}. \quad (3.10)$$

Так як коефіцієнт кореляції r є випадковою величиною, то необхідно по емпіричному значенню коефіцієнта кореляції r оцінити теоретичне значення коефіцієнта c [79].

З надійністю $\Phi(t) = 0,95$, $t = 1,96$, тому

$$Z - 1,96\sigma_z \leq Z_{ген} \leq Z + 1,96\sigma_z. \quad (3.11)$$

Результати статистичної обробки експериментальних даних інтенсивностей та швидкостей руху представлені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати статистичної обробки експериментальних даних інтенсивності та швидкості руху

Статистична обробка кореляції	Для легкових автомобілів	Для вантажних автомобілів	Для автопотягів
r	-0,86	-0,91	-0,76
Z	1,42	1,2933	1,045
σ_z	0,114	0,1826	0,147
t	12,460	7,0837	7,090
$Z_{ген}$	1,196	0,9354	0,7564
	1,643	1,6511	1,3344
c	0,8326	0,7331	0,639
	0,9279	0,9290	0,8703

Висновок: теоретичні значення коефіцієнтів кореляцій з вірогідністю 0,95, лежать в довірчих інтервалах.

В результаті проведених досліджень отримана залежність «інтенсивність – швидкість» для різного складу транспортного потоку у вигляді полінома другого ступеня:

$$N = AV^2 + BV + C, \quad (3.12)$$

де A, B, C – коефіцієнти, що залежать від складу транспортного потоку, які визначаються за формулами (3.6) – (3.8).

3.2.2 Дослідження границь застосування залежності «інтенсивність – швидкість»

Кожна залежність має границі застосування. Залежність «інтенсивність – швидкість» змінюється від мінімального до максимального значення. Мінімального значення функція буде набувати при колонному русі і середній швидкості вільного руху, а максимального значення – при мінімальному безпечному інтервалі руху, який є максимумом рівняння залежності «інтенсивність – швидкість» і розраховується як перша похідна від нього.

Середня швидкість руху транспортного потоку, при якій залежність «інтенсивність – швидкість» набуває максимального значення визначалася для різних типів автомобілів.

Для легкових автомобілів ($l_a=4,5$ м) вона визначається за формулою (3.12) і має вигляд:

$$N = -0,2786V^2 + 9,9544V + 1466,6. \quad (3.13)$$

Відповідно максимального значення вона набуває при швидкості руху, що розраховується як перша похідна від залежності (3.13):

$$N' = -0,2786 \cdot 2V + 9,9544 = 0. \quad (3.14)$$

Звідки швидкість руху легкових автомобілів, при якій інтенсивність руху буде максимальною становить:

$$V = \frac{9,9544}{2 \cdot 0,2786} = 17,87 \approx 18 \text{ км/год.}$$

Аналогічно значення максимальної інтенсивності руху для вантажних автомобілів ($l_a=7,0$ м) та авто потягів ($l_a=12,0$ м) досягається при швидкостях руху, які розраховуються з допомогою залежності (3.12).

Для вантажних автомобілів:

$$N = -0,2192V^2 + 10,312V + 896,84. \quad (3.15)$$

Отже,

$$N' = -0,2192 \cdot 2V + 10,312 = 0. \quad (3.16)$$

Звідки швидкість руху вантажних автомобілів, при якій інтенсивність руху буде максимальною, становить:

$$V = \frac{10,312}{2 \cdot 0,2192} = 23,5 \approx 24 \text{ км/год.}$$

Для автопотягів:

$$N = -0,1984V^2 + 12,065V + 446,96. \quad (3.17)$$

Отже,

$$N' = -0,1984 \cdot 2V + 12,065 = 0. \quad (3.18)$$

Звідки, швидкість руху автопотягів, при якій інтенсивність руху буде максимальною, становить:

$$V = \frac{12,065}{2 \cdot 0,1984} = 30,4 \text{ км/год.}$$

На основі отриманих даних, які представлені у таблиці 3.6 побудовано графік залежності швидкості руху від середньої довжини автомобіля (рис.3.7).

Таблиця 3.6 – Швидкість руху, що відповідає пропускній здатності для різних типів автомобілів

Довжина автомобіля, м	Швидкість руху, що відповідає пропускній здатності, км/год
4,5	18
7	23,5
12	30,4

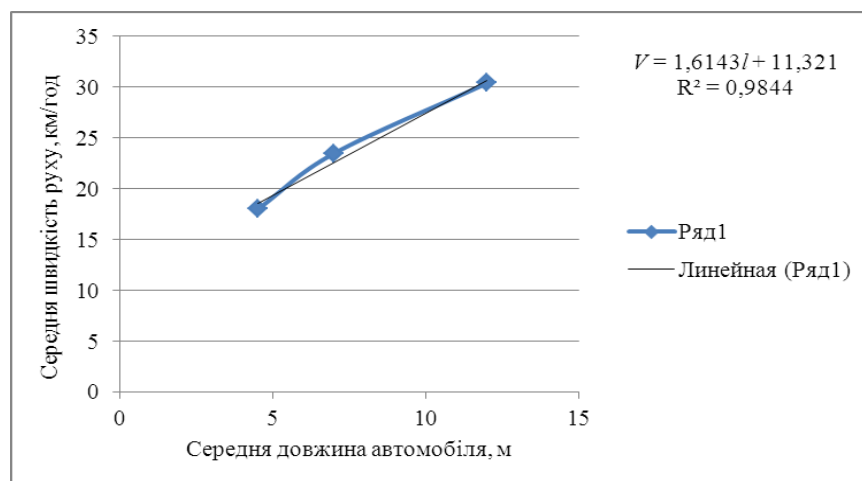


Рисунок 3.7 – Залежність швидкості руху транспортного потоку, при якій визначається максимальна інтенсивність руху від середньої довжини автомобіля у транспортному потоці

Отримана залежність буде мати вигляд:

$$V = 1,6143l_a + 11,321, \quad (3.19)$$

де l_a – довжина автомобіля, м.

В результаті досліджень кореляційної залежності «інтенсивність – швидкість» на основі оброблених даних побудовано графіки залежності максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги та мінімального інтервалу руху між автомобілями від середньої швидкості руху і довжини автомобіля, які представлені в додатку Г.

3.3 Дослідження середньої швидкості руху транспортного потоку та середньої швидкості вільного руху

Середня швидкість руху транспортного потоку залежить від багатьох чинників: ширина проїзної частини, ширина узбіччя, коефіцієнт зчеплення, радіус горизонтальних кривих, поздовжній похил, рівність проїзної частини, відстань видимості, що потрібно враховувати при виконанні досліджень.

3.3.1 Планування експериментальних досліджень середньої швидкості вільного руху транспортного потоку

Для визначення зниження середньої швидкості вільного руху транспортного потоку від геометричних елементів дороги на дорогах різних категорій були проведені експериментальні дослідження середньої швидкості вільного руху.

Експериментальні дослідження проводилися на дорогах різних категорій окремо для легкових автомобілів, вантажних, автобусів та автопотягів з допомогою приладу, що заміряє швидкість. Замірялась швидкість руху кожного автомобіля окремо при умові вільного руху, коли на його рух не впливали інші автомобілі та не було обмеження швидкості руху. Заміри проводились на горизонтальних прямолінійних ділянках дороги з коефіцієнтом зчеплення більше 0,35 та добрим станом покриття та узбіччя.

Транспортний потік складали легкові автомобілі з середньою довжиною 4,5 м, вантажні автомобілі – 7 м, автобуси – 10,5 м, авто потяги – 12 м.

Ділянки доріг для проведення досліджень вибирались на основі GPS технологій при проведенні робіт по паспортизації та розробці проектів організації дорожнього руху. За допомогою GPS-КПК визначались горизонтальні прямолінійні ділянки дороги. На рис. 3.8 показані автомобільні дороги різних категорій з добрим станом покриття, на яких проводились дослідження.

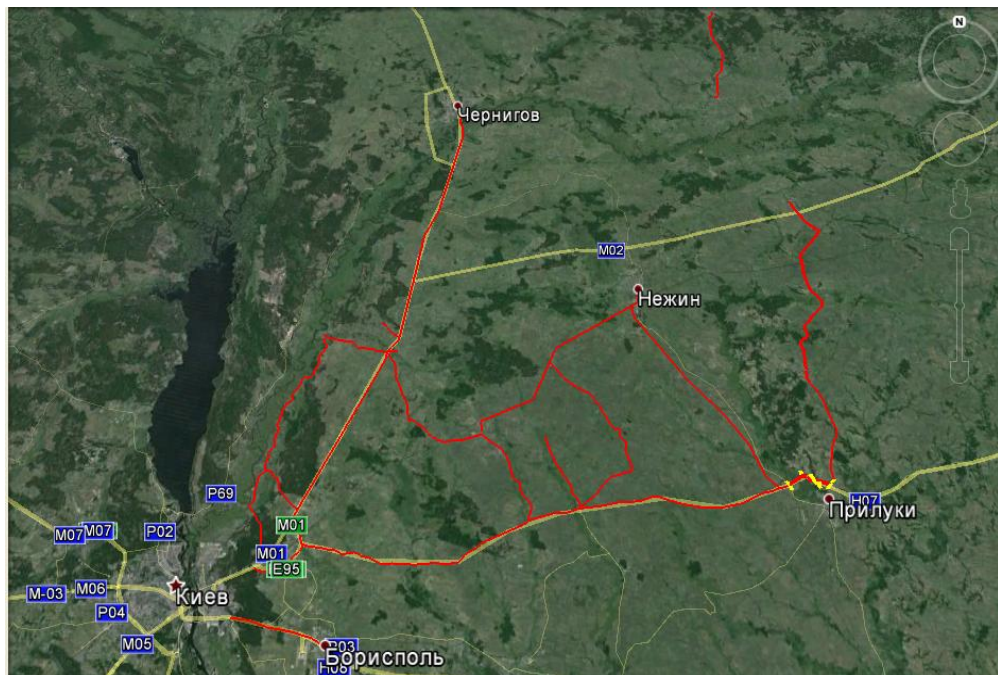


Рисунок 3.8 – Карта доріг, на яких проводилися дослідження швидкості вільного руху транспортного потоку:

Київ – Бориспіль, обхід м.Бровари; Київ – Суми; Бородянка – Бишів; Київ – Чернігів; Козелець – Бобровиця; Козелець – Данівка – Бобровиця; Обхід Бобровиці; Козелець – Сорокашичі; Ніжин – Прилуки; Борзна – Прилуки; Корюківка – Мена; Ріпки – Любеч.

Загальний вигляд GPS-КПК приведено на рис. 3.9.



Рисунок 3.9 – Загальний вигляд GPS-приймача, за допомогою якого проводилися експериментальні дослідження

Обробка експериментальних даних виконувалася з допомогою програмного комплексу, розробленого на кафедрі проектування доріг, геодезії та землеустрою. Приклад отримання результатів по визначенню поздовжнього похилу та радіуса горизонтальної кривої показано на рис 3.10 – 3.11.

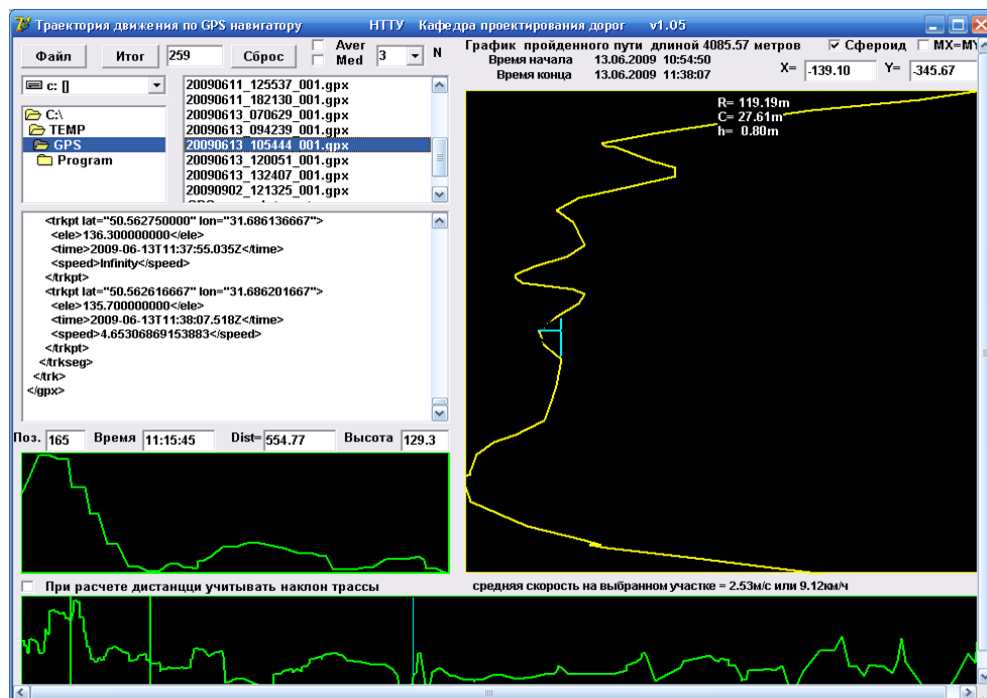


Рисунок 3.10 – Визначення радіуса горизонтальної кривої

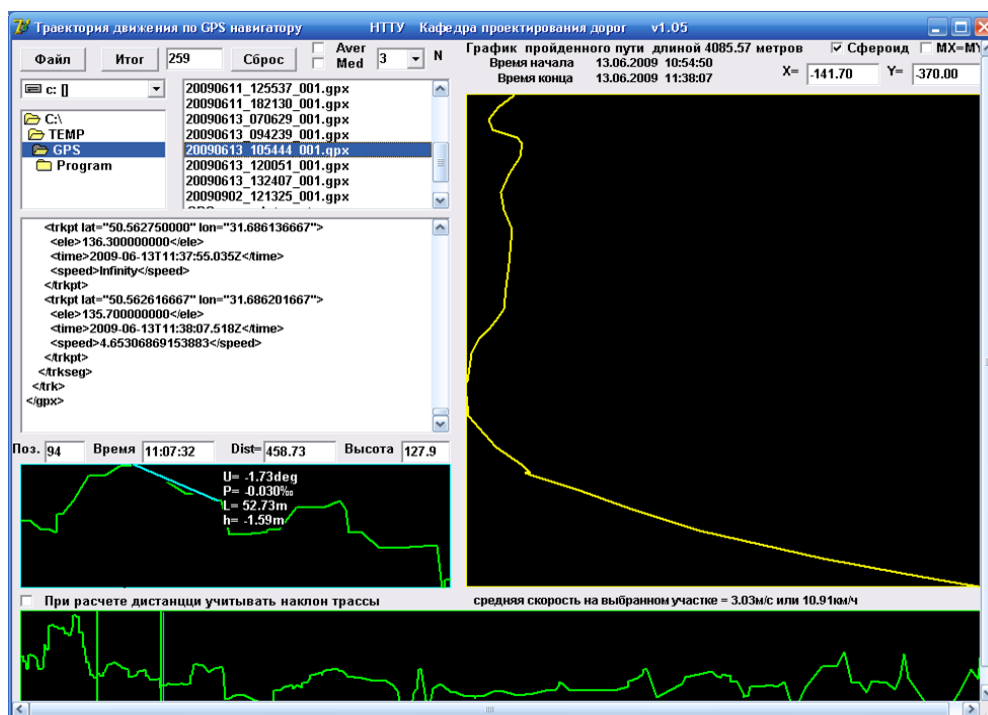


Рисунок 3.11 – Визначення поздовжнього похилу

При проведенні експериментальних досліджень необхідно встановити кількість замірів, щоб отримати результат з достатньою достовірністю. Порядок визначення необхідної кількості замірів приведено в пункті 3.1.2.

Розрахунки по визначенню необхідної кількості замірів при проведенні експериментальних досліджень для отримання достовірних значень приведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Розрахунок необхідної кількості замірів при проведенні експериментальних досліджень

Тип автомобіля	K	X_g	L	S	SL	t_1	t_2	t_2-t_1	n
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1– а категорія									
легкові	104	91,1	3,8	5,25	20	71,1	111,1	40	28
вантажні	104	75,78	3,8	4,62	17,5	58,3	93,2	35	22
автобуси	100	77,55	3,8	3,85	14,6	60,9	90,1	29,2	16
автопотяги	99	81,05	3,8	4,55	17,3	63,7	98,3	34,6	22
1– б категорія									
легкові	98	88,06	3,8	5,27	20	68,06	108,06	40	28
вантажні	88	75,76	3,84	5,01	19,2	56,5	94,9	38,4	27
автобуси	98	74,57	3,8	4,56	17,3	57,2	91,8	34,6	22
автопотяги	87	79,94	3,84	4,84	18,6	61,3	98,5	37,2	25

Кінець табл. 3.7

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2 категорія								
легкові	103	84,3	3,8	5,24	20	64,3	104,3	40	28
вантажні	105	71,9	3,8	5,4	20,5	51,4	92,4	41	30
автобуси	98	71,54	3,8	3,9	14,8	56,7	86,3	29,6	16
автопотяги	82	72,9	3,9	4,25	16,5	56,4	89,4	33	21
	3 категорія								
легкові	102	79,68	3,8	5,2	19,7	60	99,4	39,4	28
вантажні	100	67,05	3,8	3,33	12,6	54,4	79,6	25,2	12
автобуси	101	69,26	3,8	4,84	18,4	50,8	87,6	36,8	24
автопотяги	97	71,12	3,8	3,93	14,9	56,2	86	29,8	17
	4 категорія								
легкові	100	75,8	3,8	5,02	19	56,8	94,8	38	26
вантажні	79	64,09	3,9	4,08	15,9	49	80,8	31,8	18
автобуси	84	67,08	3,9	3,62	14,1	52,9	81,2	28,2	15
автопотяги	85	68,64	3,9	2,84	11,1	57,5	79,6	22,2	9

3.3.2 Вирівнювання емпіричного розподілу за нормальним законом Лапласа-Гауса

Закону Лапласа-Гауса підкоряються всі випадкові величини, на які впливає велике число чинників, рівнозначних по величині.

Спостереження здійснюється для встановлення виду функції щільності розподілу швидкостей руху. Послідовність обробки даних вимірів така:

- за даними спостережень будують емпіричну криву;
- визначають параметри емпіричного розподілу;
- висувають одну або кілька гіпотез про функцію, щільність розподілу швидкостей руху виходячи із зовнішнього вигляду експериментальної кривої, значень її параметрів, що впливають на її вид;
- вирівнюють емпіричну криву за однією або кількома прийнятими теоретичними кривими;
- порівнюють за одними з критеріїв згоди емпіричну та теоретичну криві; добирають функцію, яка дає найбільшу узгодженість.

Експериментальні дані по визначенню середньостатистичної швидкості руху для категорій автомобільних доріг та різних типів автомобілів

вирівнюються за нормальним законом Лапласа-Гауса з заданою щільністю [16, 18, 54, 79]. Результати представлені у додатку Б.

$$P(\alpha) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{-x^2}{2\sigma^2}}, \quad (3.20)$$

де x – відхилення від середнього значення;

σ – основне відхилення.

3.3.3 Порівняння емпіричного і теоретичного розподілу частот за критерієм згоди Пірсона

Після того, як емпірична крива вирівняна по теоретичній необхідно знайти імовірність того, що досліджувана емпірична крива відповідає вибраному теоретичному закону. Зазвичай вважають, що емпірична крива узгоджується з теоретичною, якщо імовірність згоди більше 0,05. Іноді за рівень згоди приймають 0,01 або 0,001. Якщо імовірність згоди більше прийнятого рівня (0,05; 0,01 або 0,001), то вважають, що емпіричний розподіл узгоджується з теоретичним. Якщо ж ця імовірність виявляється менше 0,05 (або 0,01 і 0,001), то розбіжність вважається істотною і необхідно підібрати іншу теоретичну криву. У тих же випадках, коли декілька теоретичних кривих не дають істотної розбіжності з емпіричною, приймається та крива, яка дає найбільшу імовірність згоди.

Критерій χ^2 є найбільш спроможним при великому числі спостережень [16, 18, 54, 79]. Його спроможність полягає в тому, що він майже завжди спростовує невірну гіпотезу. Він забезпечує мінімальну помилку в ухваленні невірної гіпотези в порівнянні з іншими критеріями. Цей критерій слід застосовувати в тих випадках, коли теоретичні значення параметрів функції розподілу невідомі.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{|m_i - m_i'|^2}{m_i'}, \quad (3.21)$$

де χ^2 – критерій Пірсона;

n – число частот, що порівнюються;

m_i – теоретичні дані;

m_i' – емпіричні дані.

Після знаходження величини χ^2 визначають число ступенів вільності:

$$k = n - r - 1, \quad (3.22)$$

де k – число ступенів вільності;

r – число параметрів теоретичної функції розподілу.

В результаті статистичної обробки експериментальних даних та теоретичних функцій розподілу середньої швидкості вільного руху за критеріями згоди Пірсона можна зробити наступний висновок: середні швидкості вільного руху підпорядковуються нормальному закону розподілу.

Отримані результати представлені в табл. 3.8. Детальний розрахунок приведено у додатку Б.

Таблиця 3.8 – Дані порівняння емпіричних та теоретичних функцій розподілу за критерієм згоди Пірсона

Тип автомобіля	χ^2	$P(\chi^2)$
1	2	3
1–а категорія		
Легкові	1,79	0,5
Вантажні	4,8	0,1
Автобуси	7,9	0,012
Автопотяги	4,8	0,1
1–б категорія		
Легкові	6,84	0,03
Вантажні	0,42	0,6
Автобуси	1,55	0,5
Автопотяги	2,21	0,3

Кінець табл. 3.8

1	2	3
2 категорія		
Легкові	0,69	0,6
1	2	3
Вантажні	7,98	0,02
Автобуси	3,41	0,13
Автопотяги	5,98	0,04
3 категорія		
Легкові	0,1	0,6
Вантажні	4,58	0,13
Автобуси	1,15	0,6
Автопотяги	0,17	0,6
4 категорія		
Легкові	2,88	0,22
Вантажні	6,8	0,03
Автобуси	2,17	0,36
Автопотяги	9,07	0,012

На основі проведеного дослідження отримано середні швидкості вільного руху автомобілів на дорогах різних категорій, які представлені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Середні швидкості вільного руху

№ п/п	Категорія дороги	Кількість смуг руху	Середня швидкість, км/год			
			Легкові	Вантажні	Автобуси	Автопотяги
1	Ia	6	91,13	75,70	77,50	81,03
2	Ia, Ib	4	88,04	75,77	74,61	80,00
3	II	2	84,29	71,90	71,50	72,93
4	III	2	79,72	67,06	69,33	71,11
5	IV	2	75,83	64,08	67,03	68,75

Середню швидкість вільного руху транспортного потоку визначають як середньостатистичне значення за формулою (1.39).

3.4 Дослідження середньої швидкості руху транспортного потоку

Середня швидкість транспортного потоку залежить від багатьох чинників. Частина з цих чинників враховується при визначенні середньої швидкості вільного руху. Зменшення цієї швидкості відбувається при наявності радіусів горизонтальних кривих та поздовжніх похилів.

Першим етапом є визначення необхідних ділянок дороги для виконання дослідження. При виконанні паспортизації доріг з використанням GPS технологій визначаються як радіуси горизонтальних кривих так і поздовжні похили. Необхідні ділянки дороги вибирались у Київській та Чернігівській областях. Перелік автомобільних доріг приведено у п. 3.3.1.

Для визначення впливу радіусів горизонтальних кривих вибирались ділянки доріг 4 категорії з радіусами 50 м, 100 м, 600 м. Для визначення впливу поздовжніх похилів вибирались ділянки дороги на дорогах 1 категорії з похилом 0,08%, 0,2%, 0,3%, на дорогах 4 категорії з похилом 0,1%, 0,2%, 0,3%, 0,5%. Заміри проводились для різних типів автомобілів.

Другим етапом є проведення замірів швидкості руху. На ділянках з поздовжнім похилом місце замірів було на відстані 150 – 200 м від початку досліджуваної ділянки. Заміри на горизонтальних кривих проводились в центрі кривої, щоб виключити перехідну криву. Вплив поздовжнього похилу на середню швидкість транспортного потоку враховується понижуючими коефіцієнтами. Для визначення впливу поздовжнього похилу взято середні швидкості руху легкових автомобілів на дорогах різних категорій.

3.4.1 Дослідження впливу поздовжнього похилу на середню швидкість руху транспортного потоку

Дослідження впливу поздовжнього похилу на середню швидкість руху транспортного потоку проводилися на автомобільних дорогах I та IV категорій з поздовжнім похилом 8‰, 20‰, 30‰ та 50‰. Результати порівняння швидкостей руху отриманих на основі проведених досліджень руху легкових автомобілів на дорогах відповідних категорій з існуючими залежностями приведено в табл. 3.10, 3.11 [6, 8, 14, 78, 82, 83, 88, 91].

Таблиця 3.10 – Порівняння впливу поздовжніх похилів на середню швидкість транспортного потоку

Розрахункова формула	Категорія дороги	Вільна швидкість руху	Поздовжній похил			
			0,008	0,02	0,03	0,05
легкові автомобілі						
$V_i = V_{\epsilon} \left(1 - \alpha i \right)$	Ia	91,1	91,1	84,5	74,7	63,77
$V_i = V_{\epsilon} \frac{0,02 \frac{V_0}{V_{\epsilon}}}{i \frac{V_0}{V_{\epsilon}}}$	Ia	91,1	91,1	91,1	91,1	81,07
$V_i = V_{\epsilon} \cdot k$	Ia	91,1	91,1	91,1	83,8	76,5
Дані дослідження	Ia	91,1	91,1	90	89,43	80,6
легкові автомобілі						
			0,01	0,02	0,03	0,05
$V_i = V_{\epsilon} \left(1 - \alpha i \right)$	IV	75,8	68,9	62,1	53	?
$V_i = V_{\epsilon} \frac{0,02 \frac{V_0}{V_{\epsilon}}}{i \frac{V_0}{V_{\epsilon}}}$	IV	75,8	75,8	75,8	64,8	53,8
$V_i = V_{\epsilon} \cdot k$	IV	75,8	75,8	69,7	63,6	51,5
Дані дослідження	IV	75,8	75,8	75,28	64,83	55,06

Таблиця 3.11 – Порівняння результатів розрахунку понижуючих коефіцієнтів різними методами

Розрахункова формула	Категорія дороги	Вільна швидкість руху	Поздовжній похил			
			0,008	0,02	0,03	0,05
1	2	3	4	5	6	7
легкові автомобілі						
$V_i = V_{\epsilon} \left(1 - \alpha i \right)$	Ia	91,1	0,93	0,82	0,7	–
$V_i = V_{\epsilon} \frac{0,02 \frac{V_0}{V_{\epsilon}}}{i \frac{V_0}{V_{\epsilon}}}$	Ia	91,1	1	1	0,89	–
$V_i = V_{\epsilon} \cdot k$	Ia	91,1	1	0,92	0,84	–
Дані дослідження	Ia	91,1	0,99	0,987	0,88	–
легкові автомобілі						
			0,01	0,02	0,03	0,05
$V_i = V_{\epsilon} \left(1 - \alpha i \right)$	IV	75,8	0,91	0,82	0,7	0,12

Кінець табл. 3.11

1	2	3	4	5	6	7
$V_i = V_{\epsilon} \frac{0,02 \frac{V_0}{V_{\epsilon}}}{i \frac{V_0}{V_{\epsilon}}}$	IV	75,8	1	1	0,85	0,71
$V_i = V_{\epsilon} \cdot k$	IV	75,8	1	0,92	0,84	0,68
Дані дослідження	IV	75,8	1	0,99	0,85	0,73
Рекомендовані			1	0,99	0,86	0,73

На основі проведених досліджень середньої швидкості руху транспортного потоку в залежності від поздовжнього похилу дороги визначені понижуючі коефіцієнти, що приведені у табл. 3.12 та на рис.3.12.

Таблиця 3.12 – Рекомендовані коефіцієнти при урахуванні впливу поздовжнього похилу на середню швидкість руху транспортного потоку

Поздовжній похил	0,01	0,02	0,03	0,05
Коефіцієнти	1	0,99	0,86	0,73

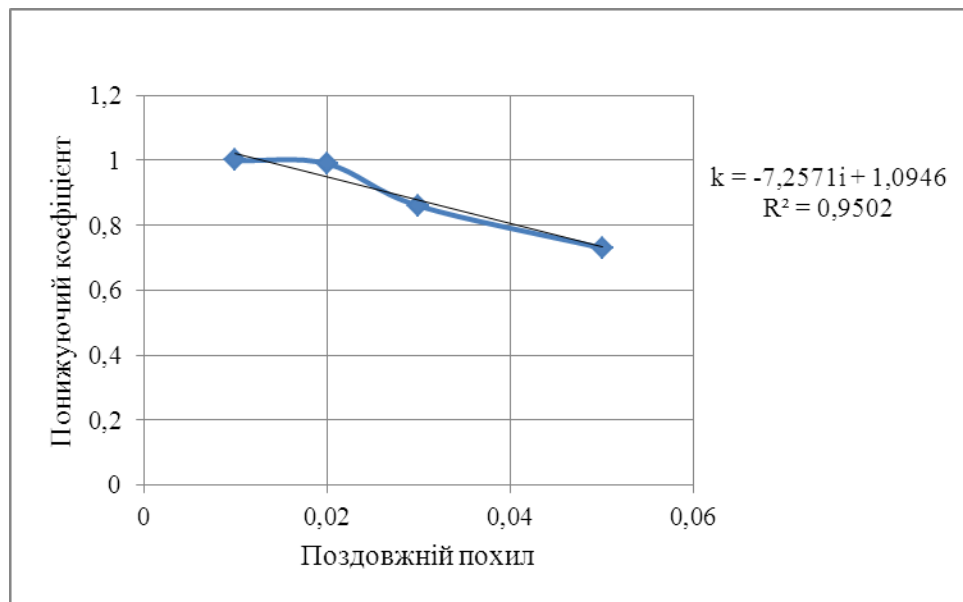


Рисунок 3.12 – Залежність понижуючих коефіцієнтів від поздовжнього похилу

На основі проведених досліджень середньої швидкості руху транспортного потоку визначений коефіцієнт, який враховує вплив поздовжнього похилу дороги на середню швидкість руху:

$$k = -7,25 \cdot i + 1,0946, \quad (3.23)$$

де i – поздовжній похил автомобільної дороги.

Розрахунок необхідної кількості замірів при дослідження впливу поздовжнього похилу на середню швидкість руху транспортного потоку приведено у табл. 3.13.

Таблиця 3.13 – Розрахунок необхідної кількості замірів при дослідження впливу поздовжнього похилу на середню швидкість руху транспортного потоку легкових автомобілів на дорогах першої та четвертої категорії

Похил	m_i	$X_{\bar{e}}$	S	L	SL	t_1	t_2	$t_1 - t_2$	σ	n
Легкові автомобілі дорога першої категорії										
0,008	105	90,8	3,2	3,8	12,05	102,9	78,8	24,1	4,01	11
0,02	109	89,4	4,2	3,8	15,96	105,9	74	31,9	5,32	19
0,03	105	80,5	3,39	3,8	12,9	93,4	67,6	25,8	4,3	12
Легкові автомобілі дорога четвертої категорії										
0,01	104	75,8	3,6	3,8	13,7	89,5	62,2	27,36	4,56	53
0,02	110	75,36	5,9	3,8	22,4	97,8	52,9	44,8	7,47	36
0,03	101	64,83	3,5	3,8	13,3	78,1	51,5	26,6	4,4	13
0,05	109	55,11	4,59	3,8	17,4	72,5	37,6	34,9	5,8	22

Експериментальні дані середньостатистичних швидкостей руху легкових автомобілів на дорогах першої та четвертої категорій вирівнюються за нормальним законом Лапласа-Гауса з заданою щільністю [16, 18, 54, 79]. Результати обробки представлені у додатку В.

Після того, як емпірична крива вирівняна по теоретичній необхідно знайти імовірність того, що досліджувана емпірична крива відповідає

вибраному теоретичному закону. Для цього проводять порівняння емпіричного і теоретичного розподілу частот за критерієм згоди Пірсона.

Отримані результати розрахунку порівняння емпіричних та теоретичних функцій розподілу за критерієм згоди Пірсона приведені в додатку В та таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 – Результати порівняння емпіричних та теоретичних функцій розподілу за критерієм згоди Пірсона

Категорія дороги,похил	χ^2	$P(\chi^2)$
I, i=0,008	0,094	0,6
I, i=0,02	8,74	0,015
I, i=0,03	0,015	0,6
IV, i=0,01	1,19	0,6
IV, i=0,02	0,086	0,8
IV, i=0,03	1,43	0,8
IV, i=0,05	5,45	0,15

В результаті статистичної обробки експериментальних даних та теоретичних функцій розподілу середньої швидкості руху транспортного потоку в залежності від поздовжнього похилу за критеріями згоди Пірсона можна зробити наступний висновок: середні швидкості підпорядковуються нормальному закону розподілу.

3.4.2 Дослідження впливу радіусів горизонтальних кривих на середню швидкість руху транспортного потоку

Дослідження проводились на визначених ділянках автомобільних доріг 4 та 3 категорій з радіусами горизонтальних кривих до 600 м, оскільки радіуси горизонтальних кривих на дорогах 2 та 1 категорій більше 600м, вони не впливають на середню швидкість руху транспортного потоку і не потребують проведення досліджень.

Розрахунок необхідної кількості замірів для отримання достовірних результатів середньої швидкості руху приведено в табл. 3.15 [79].

Таблиця 3.15 – Необхідна кількість замірів для отримання достовірних результатів середньої швидкості руху

Тип автомобіля	m_i	X_{σ}	S	l	Sl	t_1	t_2	$t_1 - t_2$	σ	n
Радіус 100 метрів										
легкові	91	70,4	4,14	3,84	15,9	86,3	54,5	31,8	5,3	18
вантажні	91	60	4,44	3,84	17	77	43	34	5,7	21
автобуси	103	50,17	3,87	3,8	14,7	64,8	35,5	29,4	4,9	15
автопотяги	97	59	3,2	3,8	12,2	71,2	46,8	24,4	4,0	11
Радіус 50 метрів										
легкові	92	43,09	2,76	3,8	10,5	53,6	32,6	21	3,5	9
вантажні	101	38,4	3,75	3,8	14,25	52,6	24,15	28,5	4,75	14
автобуси	85	30,03	2,5	3,9	9,78	39,8	20,3	19,5	3,25	7
автопотяги	86	33,43	3,86	3,9	15,0	48,4	18,4	30	5	16

Експериментальні дані середньостатистичних швидкостей руху легкових автомобілів, вантажних, автобусів та автопотягів на дорогах з радіусом горизонтальних кривих 50 м та 100 м вирівнюються за нормальним законом Лапласа-Гауса із заданою щільністю [16, 18, 54, 79]. Результати представлені у додатку В.

Після того, як емпірична крива вирівняна по теоретичній необхідно знайти імовірність того, що досліджувана емпірична крива відповідає вибраному теоретичному закону. Для цього проводять порівняння емпіричного і теоретичного розподілу частот за критерієм згоди Пірсона. Отримані результати розрахунку порівняння емпіричних та теоретичних функцій розподілу за критерієм згоди Пірсона приведені в додатку В та таблиці 3.16.

Таблиця 3.16 – Дані порівняння емпіричних та теоретичних функції розподілу за критерієм згоди Пірсона

Тип автомобіля, радіус	χ^2	$P(\chi^2)$
Легкові, R=100 м	8,87	0,17
Вантажні, R=100 м	5	0,0821
Автобуси, R=100 м	3,87	0,135
Автопотяги, R=100 м	4,6	0,0821
Легкові, R=50 м	18,8	0,012
Вантажні, R=50 м	9,84	0,061
Автобуси, R=50 м	4,5	0,13
Автопотяги, R=50 м	4,54	0,082

В результаті статистичної обробки експериментальних даних та теоретичних функцій розподілу середньої швидкості руху транспортного потоку в залежності від радіуса горизонтальної кривої за критерієм згоди Пірсона можна зробити наступний висновок: середні швидкості руху підпорядковуються нормальному закону розподілу.

Для встановлення залежності впливу радіусів горизонтальних кривих на середню швидкість транспортного потоку була проведена обробка результатів досліджень для різних типів автомобілів і радіусів горизонтальних кривих з допомогою електронних таблиць Excel та системи програмування Mathcad. Для цього на основі отриманих експериментальних даних було побудовано графік залежності середньої швидкості руху від радіуса горизонтальної кривої для легкових автомобілів і визначена теоретична крива. Графік приведено на рис. 3.13.

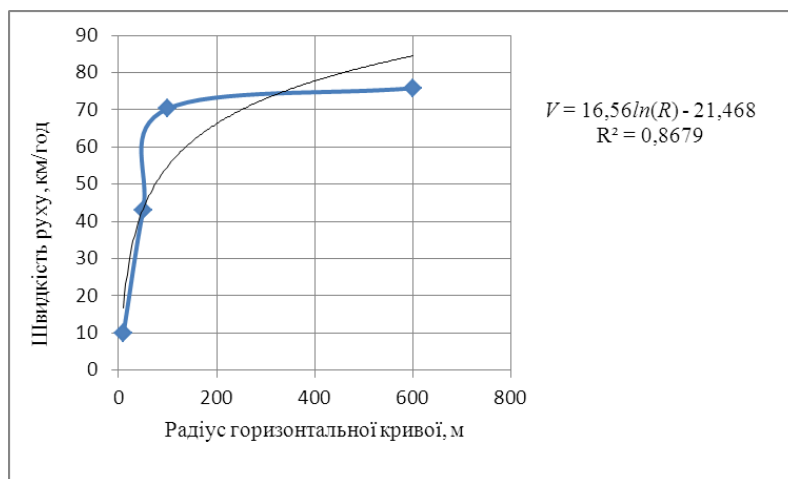


Рисунок 3.13 – Залежність швидкості руху від радіуса горизонтальної кривої для легкових автомобілів

Аналіз графіка показав, що при радіусі горизонтальної кривої 100 м спостерігається велика розбіжність теоретичних і експериментальних значень, що викликало необхідність дослідження впливу радіуса горизонтальної кривої на середню швидкість у два етапи: для радіусів до 100 м і від 100 м до 600 м.

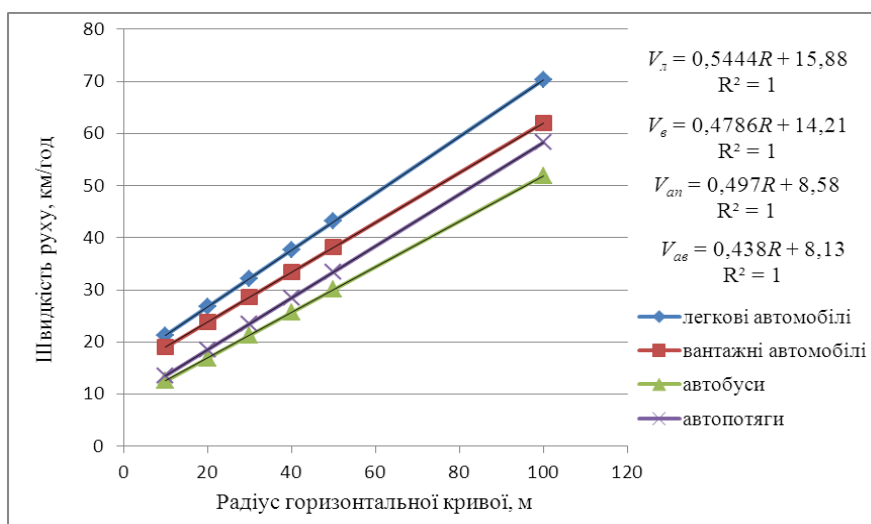


Рисунок 3.14 – Залежність середньої швидкості руху від радіуса горизонтальної кривої до 100 м

На основі проведеної обробки експериментальних даних отримана залежність середньої швидкості руху транспортного потоку від радіуса горизонтальної кривої до 100 м для різних типів автомобілів.

Рівняння, що описує залежність має вигляд:

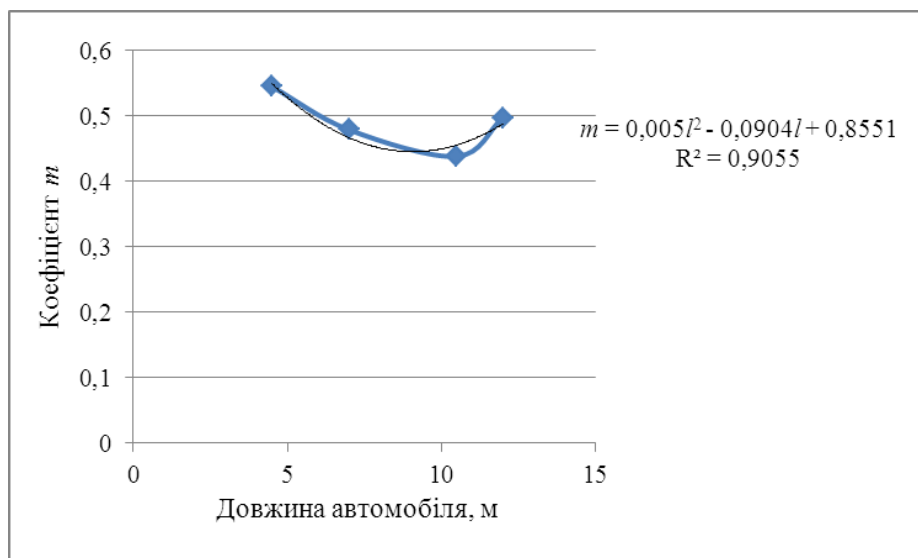
$$V = mR + n, \quad (3.24)$$

де m , n – коефіцієнти, що залежать від середньої довжини автомобіля.

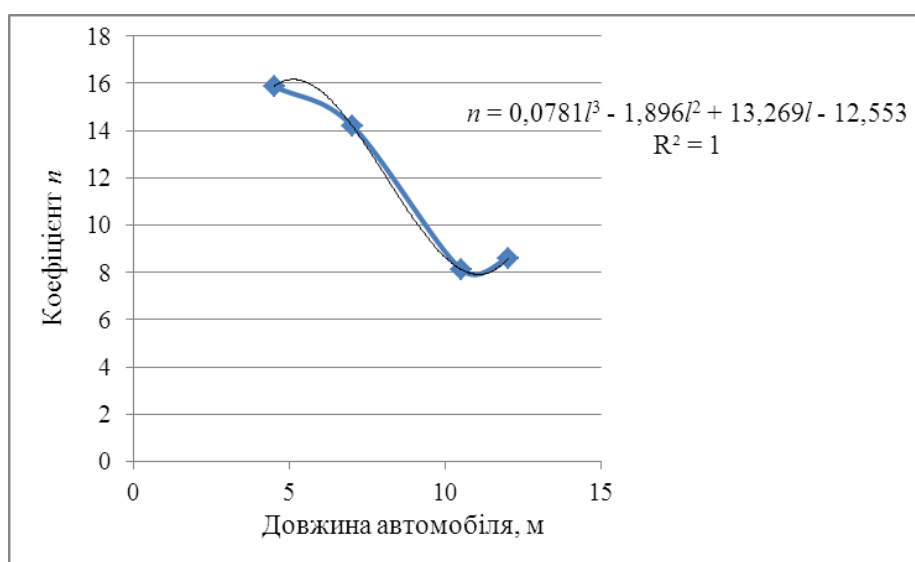
Для отримання рівняння залежності у загальному вигляді потрібно обробити отримані дані для різних типів автомобілів. Для цього необхідно знайти залежність, яка б описувала зміну кожного коефіцієнта в залежності від типу автомобіля. Вихідні дані для визначення коефіцієнтів x і y представлені в табл. 3.17 – 3.18. Результати обробки вихідних даних з допомогою електронних таблиць Excel приведені на рис. 3.15 – 3.16.

Таблиця 3.17 – Залежність коефіцієнта m від довжини автомобіля

Довжина автомобіля, м	Коефіцієнт m
4,5	0,5444
7	0,4786
10,5	0,438
12	0,497

Рисунок 3.15 – Залежність коефіцієнта m від довжини автомобіляТаблиця 3.18 – Залежність коефіцієнта n від довжини автомобіля

Довжина автомобіля, м	Коефіцієнт n
4,5	15,88
7	14,21
10,5	8,13
12	8,58

Рисунок 3.16 – Залежність коефіцієнта n від довжини автомобіля

Коефіцієнти m і n характеризують середню довжину автомобіля у транспортному потоці і представлені наступними залежностями:

$$m = 0,005l_a^2 - 0,0904l_a + 0,8551, \quad (3.25)$$

$$n = 0,0781l_a^3 - 1,896l_a^2 + 13,269l_a - 12,553. \quad (3.26)$$

Загальний вигляд рівняння залежності середньої швидкості руху транспортного потоку від радіуса горизонтальної кривої до 100м:

$$V = (0,005l_a^2 - 0,0904l_a + 0,8551)R + (0,0781l_a^3 - 1,896l_a^2 + 13,269l_a - 12,553), \quad (3.27)$$

де l_a – довжина автомобіля, м;

R – радіус горизонтальної кривої, м.

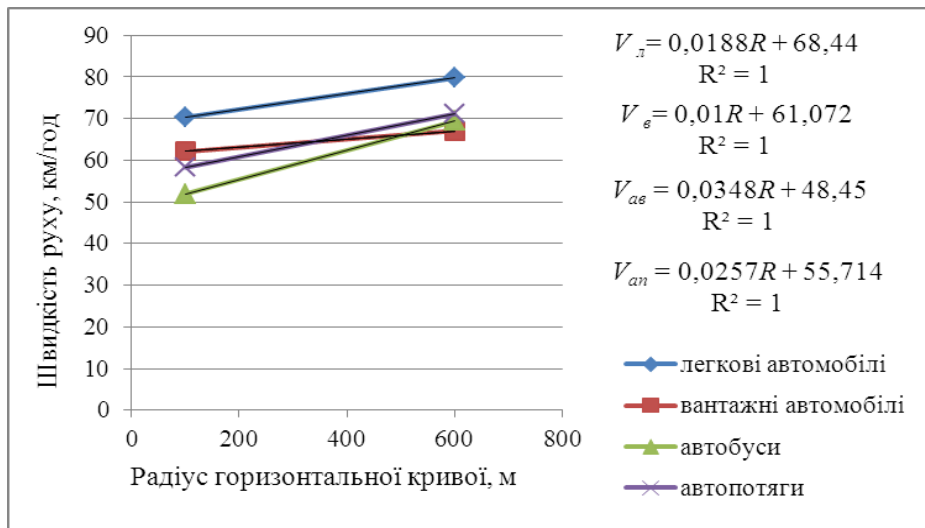


Рисунок 3.17 – Залежність середньої швидкості руху від радіуса горизонтальної кривої більше 100м

На основі проведеної обробки експериментальних даних отримана залежність середньої швидкості руху транспортного потоку від радіуса горизонтальної кривої більше 100 м для різних типів автомобілів.

Рівняння, що описує залежність має вигляд:

$$V = zR + w, \quad (3.28)$$

де z , w – коефіцієнти, що залежать від середньої довжини автомобіля.

Для отримання рівняння залежності у загальному вигляді потрібно обробити отримані дані для різних типів автомобілів. Для цього необхідно знайти залежність, яка б описувала зміну кожного коефіцієнта в залежності від типу автомобіля. Вихідні дані для визначення коефіцієнтів d і p представлені в табл. 3.19 – 3.20. Результати обробки вихідних даних з допомогою електронних таблиць Excel приведені на рис. 3.18 – 3.19.

Таблиця 3.19 – Залежність коефіцієнта z від довжини автомобіля

Довжина автомобіля, м	Коефіцієнт z
4,5	0,0188
7	0,01
10,5	0,0348
12	0,0257

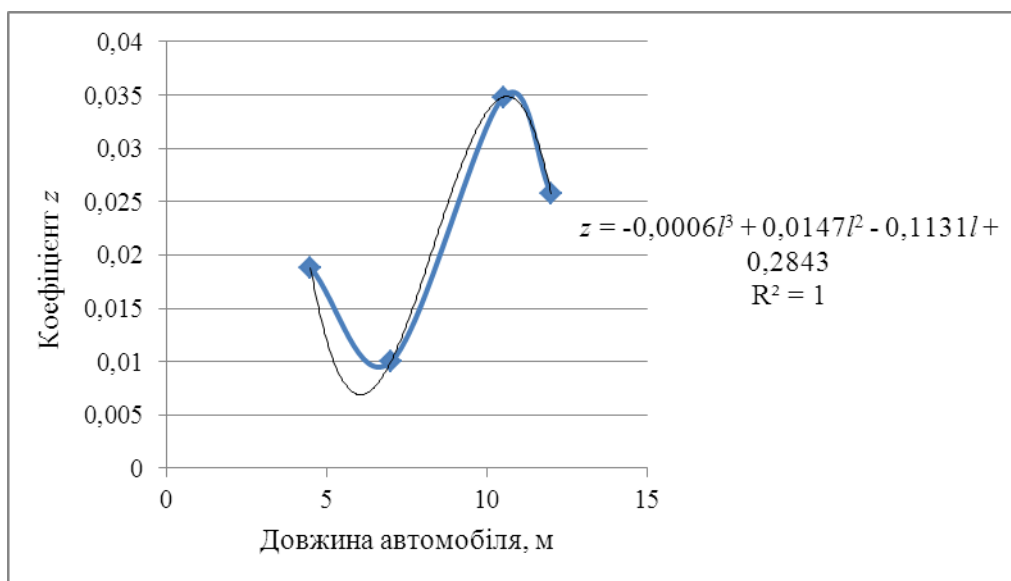


Рисунок 3.18 – Залежність коефіцієнта z від довжини автомобіля

Таблиця 3.20 – Залежність коефіцієнта w від довжини автомобіля

Довжина автомобіля, м	Коефіцієнт w
4,5	68,44
7	61,072
10,5	48,45
12	55,714

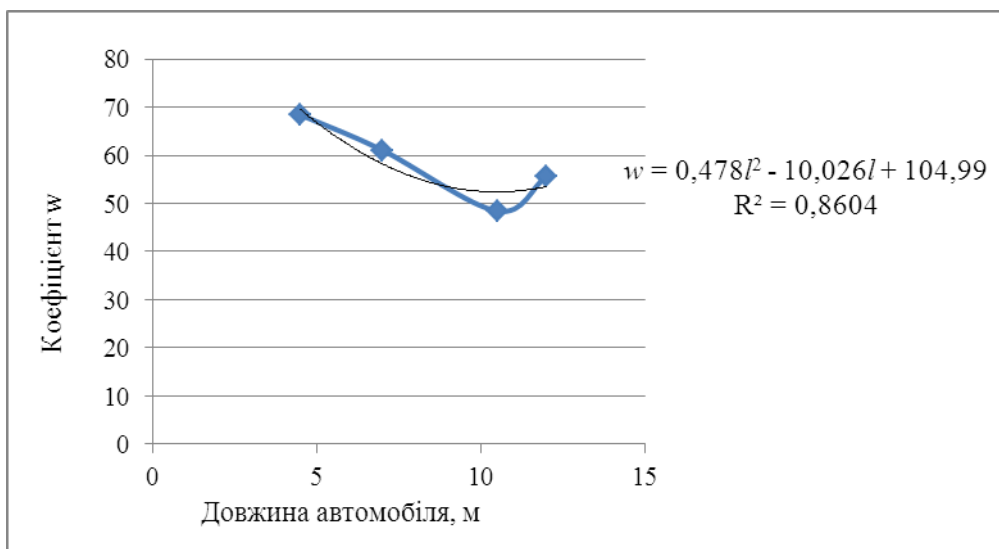


Рисунок 3.19 – Залежність коефіцієнта w від довжини автомобіля

Коефіцієнти z і w характеризують середню довжину автомобіля у транспортному потоці і представлені наступними залежностями:

$$z = -0,0006l_a^3 + 0,0147l_a^2 - 0,1131l_a + 0,2843, \quad (3.29)$$

$$w = 0,478l_a^2 - 10,026l_a + 104,99. \quad (3.30)$$

Загальний вигляд рівняння залежності середньої швидкості руху транспортного потоку від радіуса горизонтальної кривої більше 100м:

$$V = (-0,0006l_a^3 + 0,0147l_a^2 - 0,1131l_a + 0,2843)R + (0,478l_a^2 - 10,026l_a + 104,99), \quad (3.31)$$

де l – довжина автомобіля, м;

R – радіус горизонтальної кривої, м.

Висновки до розділу 3

1. На основі проведених досліджень встановлено кореляційну залежність «інтенсивність – швидкість» для зв'язаного руху автомобілів різного складу транспортного потоку. Дослідження транспортних потоків по визначенню залежності «інтенсивність – швидкість» для різних типів автомобілів дало позитивний результат при перевірці на достовірність даних за допомогою коефіцієнта кореляції, що дозволило визначити необхідні статистичні характеристики вибірки.

2. На основі проведених досліджень встановлено значення середньої швидкості вільного руху на дорогах різних категорій для різного складу транспортного потоку. Дослідження транспортних потоків по визначенню середньої швидкості вільного руху дало позитивний результат при перевірці на відповідність нормальному закону розподілу емпіричних і теоретичних функцій та підтвердження достовірності отриманих даних по критерію згоди Пірсона (χ^2), що дозволило визначити необхідні статистичні характеристики.

3. Проведені дослідження впливу позовжнього похилу на швидкість транспортного потоку підтвердили можливість застосування існуючих коефіцієнтів її зниження. Це дослідження дало позитивний результат при перевірці на відповідність нормальному закону розподілу та підтвердження достовірності отриманих даних по критерію згоди Пірсона (χ^2).

4. На основі проведених досліджень встановлено залежність зниження середньої швидкості руху від радіуса горизонтальної кривої та доведено відповідність нормальному закону розподілу емпіричних і теоретичних функцій та підтвердження достовірності отриманих даних по критерію згоди Пірсона (χ^2).

5. Результати досліджень даного розділу викладено у наступних публікаціях [23, 29, 30, 32].

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ НА АВТОМОБІЛЬНІЙ ДОРОЗІ

Максимальна інтенсивність руху смугою руху автомобільної дороги є основою:

- при визначенні кількості смуг руху;
- при визначенні параметрів з'їздів;
- при аналізі умов руху автомобільного транспорту на автомобільних дорогах різних категорій;
- при розробці заходів із покращення умов руху;
- при розрахунку світлофорного та координованого регулювання дорожнього руху;
- при введенні автоматизованих систем регулювання дорожнього руху;
- при обґрунтуванні необхідності реконструкції автомобільних доріг.

4.1 Алгоритм розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги з відомими даними середньої швидкості руху

Максимальна інтенсивність руху смугою автомобільної дороги розраховується на основі даних отриманих у результаті експериментальних досліджень залежностей з урахуванням середньої швидкості руху та складу транспортного потоку.

На основі проведених досліджень розроблено алгоритм розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги.

Алгоритм її розрахунку представлений на рис. 4.1.

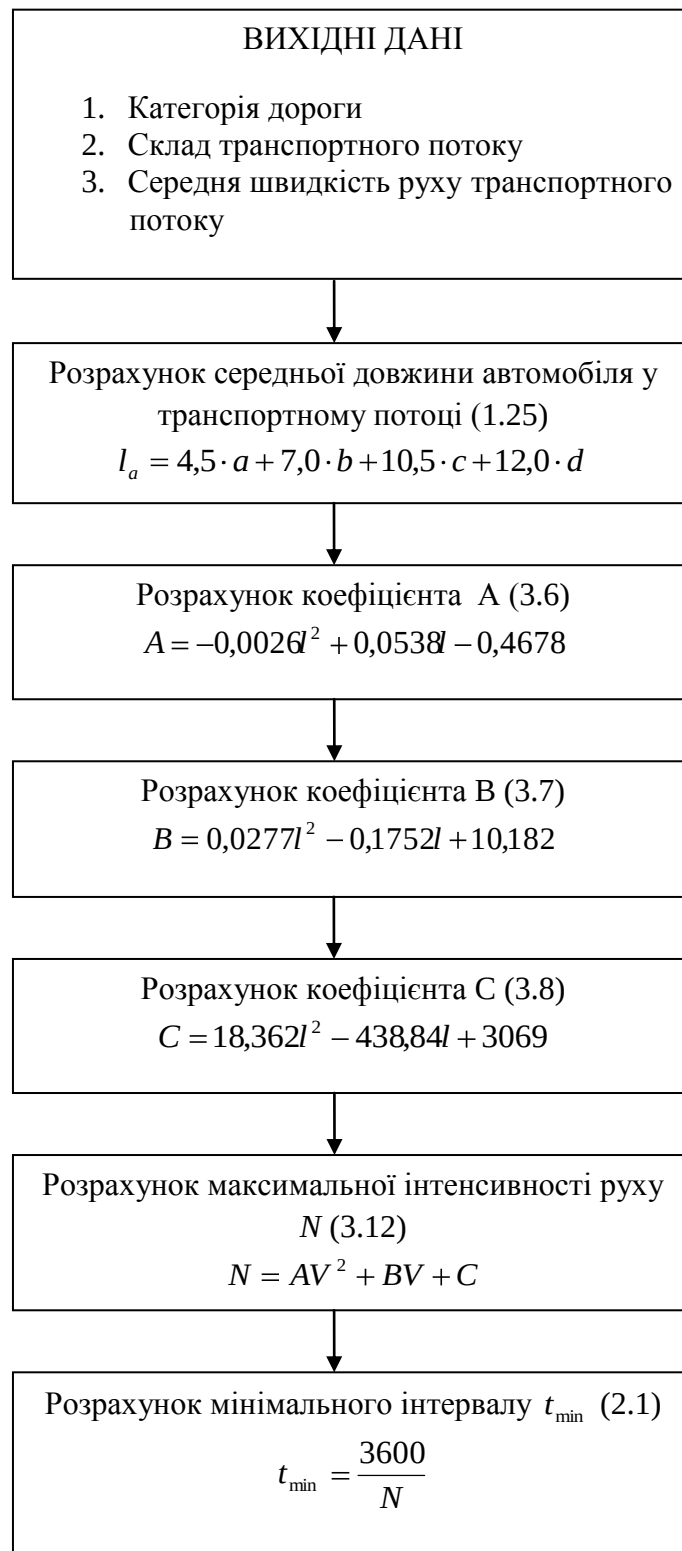


Рисунок 4.1 – Алгоритм розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги

4.2 Алгоритм розрахунку середньої швидкості руху транспортного потоку для виділеної ділянки автомобільної дороги

У випадку відсутності даних середньої швидкості руху транспортного потоку пропонується алгоритм її розрахунку отриманий на основі проведених досліджень і представлений на рис 4.2.

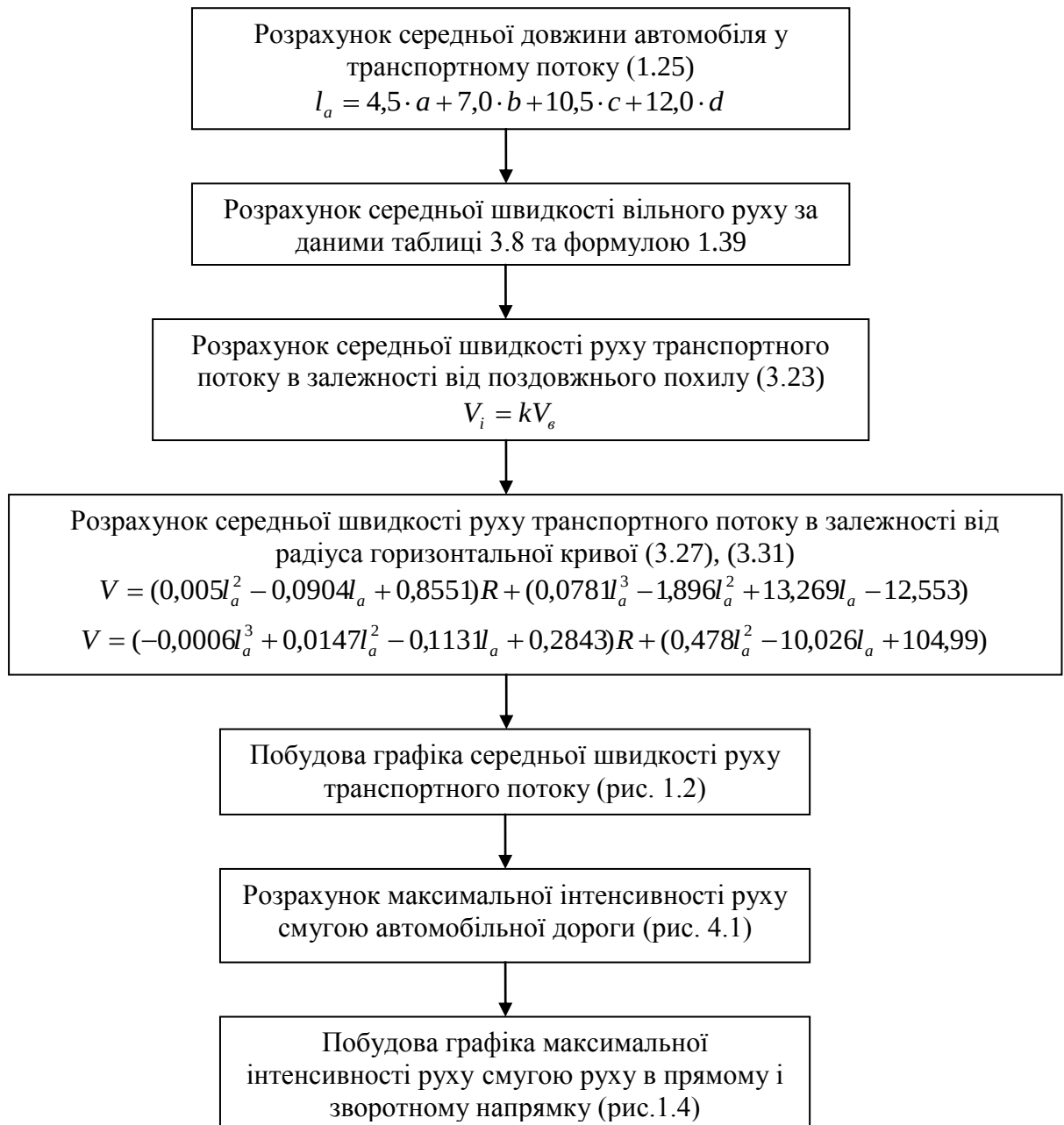


Рисунок 4.2 – Алгоритм розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги у випадку відсутності даних середньої швидкості руху транспортного потоку

Для спрощення розрахунків за результатами проведених досліджень складено графіки, які приведені у додатку Г:

- середня швидкість транспортного потоку в залежності від радіуса горизонтальної кривої та середньої довжини автомобіля транспортного потоку;
- коефіцієнти зниження середньої швидкості транспортного потоку від величини радіуса поздовжнього похилу;
- таблиця середніх швидкостей вільного руху в залежності від категорії дороги та складу транспортного потоку.

На основі отриманих даних складається графік середньої швидкості руху.

На основі графіка середньої швидкості руху транспортного потоку будується графік максимальної інтенсивності руху.

4.3 Алгоритм розрахунку максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях без перехідно-швидкісних смуг

Основним показником максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі є максимальна інтенсивність руху на перехрещеннях та примиканнях, що знаходяться на цій дорозі. Проведені дослідження із виконання маневрів дозволили розробити алгоритм розрахунку максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях. На основі проведених розробок складений алгоритм розрахунку максимальної інтенсивності руху на простих перехрещеннях та примиканнях, з перехідно-швидкісними смугами та віднесеними з'їздами для виконання поворотів ліворуч.

Алгоритм розрахунку максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях без перехідно-швидкісних смуг представлена на рис. 4.3.



Рисунок 4.3 – Алгоритм розрахунку максимальної інтенсивності руху на перехрещенні або примиканні без перехідно-швидкісних смуг

Для спрощення розрахунків із визначення максимальної інтенсивності руху на простому перехрещенні або примиканні на основі проведених досліджень маневрів автомобілів складено графіки, які приведені у додатку Г:

- інтервалів для виконання поворотів праворуч та ліворуч з головної дороги на другорядну в залежності від частки легкових автомобілів;
- інтервалів для виконання поворотів праворуч та ліворуч з другорядної дороги в залежності від частки легкових автомобілів;
- інтервалу для виконання перетину головної дороги в залежності від частки легкових автомобілів.

4.4 Алгоритм розрахунку максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях і примиканнях з перехідно-швидкісними смугами

Наявність перехідно-швидкісних смуг змінює інтервали для виконання маневру. Виходячи з цього на основі проведених досліджень розроблено алгоритм із визначення максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях з перехідно-швидкісними смугами і представлений на рис. 4.4.

Для спрощення розрахунку розроблена таблиця із визначення розрахункового інтервалу для виконання маневру зміни смуги руху в залежності від середньої швидкості транспортного потоку на головній дорозі та ширини смуги руху, яка приведена у додатку Г.

Приклад розрахунку максимальної інтенсивності руху на перехрещенні або примиканні з перехідно-швидкісними смугами наведено у додатку Г.

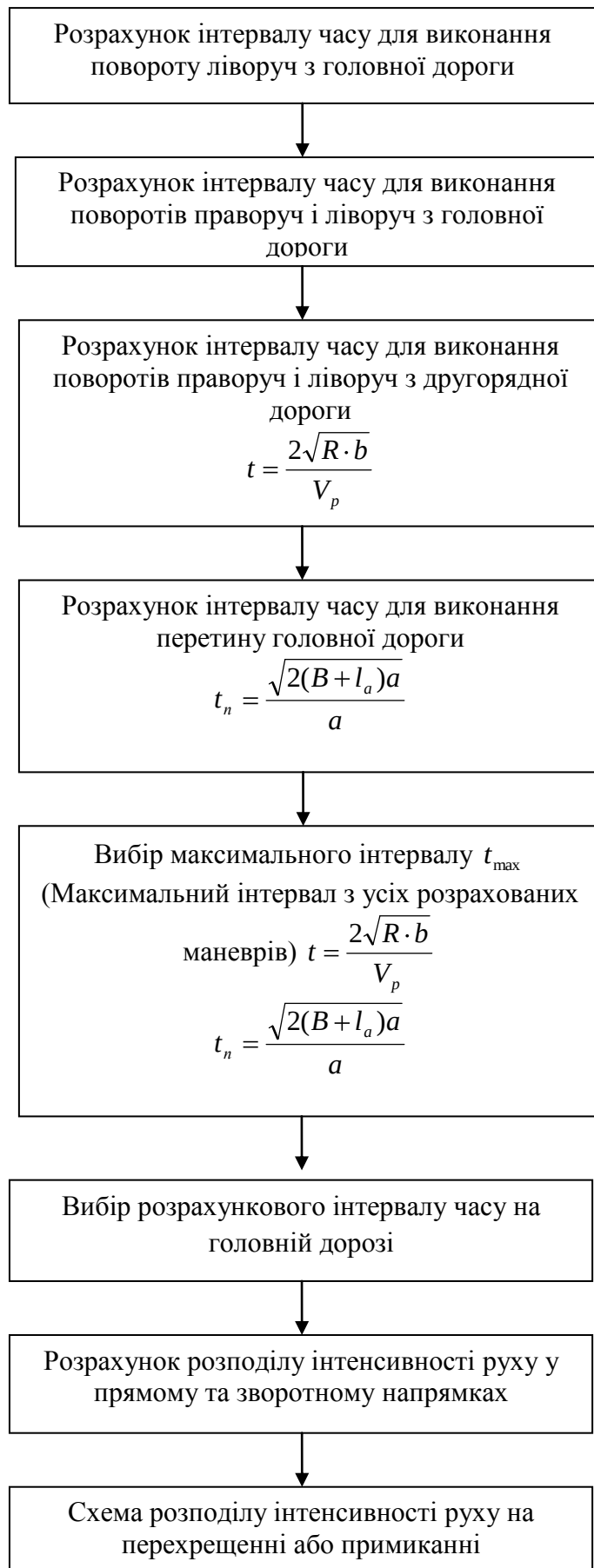


Рисунок 4.4 – Алгоритм розрахунку максимальної інтенсивності руху на перехрещенні або примиканні з перехідно-швидкісними смугами

4.5 Методика підвищення максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі та визначення періоду ефективного функціонування автомобільної дороги

Розрахунок максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі або її ділянці виконується в наступному порядку:

1. Розрахунок середньої швидкості вільного руху транспортного потоку на автомобільній дорозі.
2. Розрахунок середньої швидкості руху транспортного потоку на окремих ділянках автомобільної дороги в залежності від її геометричних параметрів.
3. Складання графіку середньої швидкості руху транспортного потоку на окремих ділянках дороги.
4. Розрахунок максимальної інтенсивності руху смугою дороги в залежності від середньої швидкості руху та складу транспортного потоку.
5. Розрахунок максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях і примиканнях автомобільних доріг на одному рівні.
6. Складання графіку максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі з урахуванням максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях і примиканнях автомобільних доріг на одному рівні.
7. Розробка заходів із підвищення максимальної інтенсивності руху на автомобільних дорогах.

Середню швидкість вільного руху транспортного потоку визначають як середньостатистичне значення за формулою (1.39):

$$V_{\text{с}} = V_{\text{л}} \cdot a + V_{\text{в}} \cdot b + V_{\text{ав}} \cdot c + V_{\text{ан}} \cdot d ,$$

де $V_{\text{л}}$, $V_{\text{в}}$, $V_{\text{ав}}$, $V_{\text{ан}}$ – відповідно середні швидкості вільного руху легкових, вантажних автомобілів, автобусів та автопотягів, км/год;

a, b, c, d – кількість автомобілів в частках одиниці відповідно легкових, вантажних автомобілів, автобусів та авто потягів.

Для розрахунку середньої швидкості вільного руху транспортного потоку значення середньої швидкості вільного руху різних типів автомобілів приймають з таблиці 3.9

Після визначення середньої швидкості вільного руху проводиться розрахунок середньої швидкості транспортного потоку в залежності від геометричних параметрів дороги. Найбільше на зниження швидкості руху транспортного потоку впливають такі чинники як радіус горизонтальної кривої та поздовжній похил автомобільної дороги.

До подальшого розрахунку максимальної інтенсивності руху автомобільної дороги приймається чинник, що найбільше впливає на зниження середньої швидкості вільного руху.

Зменшення середньої швидкості вільного руху в залежності від радіуса горизонтальної кривої розраховується за формулами (3.27), (3.31):

$$V = (0,005l_a^2 - 0,0904l_a + 0,8551)R + (0,0781l_a^3 - 1,896l_a^2 + 13,269l_a - 12,553),$$

$$V = (-0,0006l_a^3 + 0,0147l_a^2 - 0,1131l_a + 0,2843)R + (0,478l_a^2 - 10,026l_a + 104,99),$$

де l – довжина автомобіля, м

R – радіус горизонтальної кривої, м

Зменшення середньої швидкості вільного руху від поздовжнього похилу враховується понижуючим коефіцієнтом, який розраховується за формулою (3.23):

$$k = -7,25 \cdot i + 1,0946,$$

де i – поздовжній похил, відн.од.

Результат розрахунку середньої швидкості руху транспортного потоку оформляється у вигляді графіка середньої швидкості руху транспортного потоку на окремих ділянках дороги. Приклад графіку представлено у розділі 4.2.

Максимальна інтенсивність руху смугою руху розраховується в залежності від середньої швидкості транспортного потоку та його складу (3.12):

$$N = (0,0026l_a^2 + 0,0538l_a - 0,4678)V^2 + (0,0277l_a^2 - 0,1752l_a + 10,182)V + (18,362l_a^2 - 438,84l_a + 3069),$$

де l_a – середня довжина автомобіля, м;

V – середня швидкість руху, км/год.

Для визначення максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі або її ділянці розраховується максимальна швидкість руху на перехрещеннях і примиканнях автомобільних доріг на одному рівні.

Порядок визначення максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях і примиканнях автомобільних доріг на одному рівні:

1. Розрахунок мінімального інтервалу руху автомобілів на головній та другорядній дорозі при визначеній максимальній інтенсивності руху смугою автомобільної дороги (2.1):

$$t_{\min} = \frac{3600}{N_{\max}},$$

де $N_{\max}$ – максимальна інтенсивність руху смугою головної та другорядної дороги, авт./год.

2. Розрахунок інтервалів часу для виконання маневрів на перехрещенні або примиканні автомобільних доріг на одному рівні (повороти праворуч і

ліворуч з головної дороги, повороти праворуч і ліворуч з другорядної дороги, прямий проїзд головної дороги).

Інтервал часу для виконання поворотів праворуч і ліворуч з головної дороги розраховується як (2.23):

$$t_{\text{гал}} = \frac{V_p - V_3}{a},$$

де V_p – середня швидкість руху транспортного потоку на головній дорозі, м/с;

V_3 – середня швидкість руху при виконанні маневру, м/с;

a – середнє прискорення при гальмуванні автомобіля, м/с².

Інтервал часу для виконання поворотів праворуч і ліворуч з другорядної дороги на головну розраховується як (2.16):

$$t_p = \frac{V_p}{a},$$

де V_p – середня швидкість руху транспортного потоку на головній дорозі, м/с;

a – середнє прискорення при розгоні автомобіля, м/с².

Інтервал часу для виконання перетину автомобілем головної дороги розраховується як (2.35):

$$t_{\text{пер}} = \frac{\sqrt{2(B + l_a)a}}{a},$$

де B – ширина проїзної частини головної дороги, м;

l_a – середня довжина автомобіля у транспортному потоці, м;

a – середнє прискорення при розгоні автомобіля, м/с².

При наявності на перехрещенні автомобільних доріг перехідно-швидкісних смуг інтервали для виконання маневрів руху розраховуються як (2.37):

$$t_{zc} = \frac{2\sqrt{Rb}}{V_p},$$

де R – мінімальний радіус кривої траєкторії руху автомобіля при зміні смуги руху для середньої швидкості руху на головній чи другорядній дорозі V_p ;

b – ширина смуги руху;

V_p – середня швидкість руху транспортного потоку на головній чи другорядній дорозі, м/с.

При розрахунку максимальної інтенсивності руху на примиканні автомобільних доріг розрахунок інтервалу часу при перетині головної дороги виключається.

До подальшого розрахунку приймається максимальний інтервал часу для виконання маневру, що забезпечить безпеку його виконання.

3. Розрахунок інтенсивності руху автомобілів на головній дорозі із розрахунковим (максимальним) інтервалом часу, при якій буде можливим вливання в основний потік автомобілів, що виконують маневри на перехрещенні (2.38):

$$N = \frac{3600}{t_{\max}},$$

де $t_{\max}$ – максимальний інтервал часу при виконання маневру на перехрещенні або примиканні автомобільних доріг у одному рівні, с.

4. Розрахунок максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги в прямому і зворотному напрямку головної дороги з урахуванням кількості автомобілів, що вливаються в основний потік, виїжджають з нього або перетинають:

$$P = N + (N - \sum n_i), \quad (4.1)$$

де N – інтенсивність руху автомобілів на головній дорозі із розрахунковим інтервалом, авт/год;

n_i – інтенсивність руху автомобілів, що вливаються, виїжджають або перетинають основний потік, авт/год.

5. Складання схеми розподілу інтенсивності руху на перехрещенні або примиканні автомобільних доріг, де інтенсивність руху автомобілів на головній дорозі дорівнює максимальній інтенсивності руху на перехрещенні або примиканні автомобільних доріг.

Якщо перехрещень і примикань декілька встановлюється інтенсивність руху між ними

Після розрахунку максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях складається графік максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі.

На основі визначеної максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі або її ділянці розроблені рекомендації щодо проведення заходів із підвищення максимальної інтенсивності руху та встановлення граничної інтенсивності руху протягом періоду ефективного функціонування дороги від її будівництва до початку реконструкції. Розроблені заходи та умови їх проведення представлені в табл. 4.1.

За одиницю приймається максимальна інтенсивність руху на простому примиканні або перехрещенні.

Таблиця 4.1 – Заходи із підвищення максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі

Інтенсивність руху на головній дорозі	Заходи із підвищення максимальної інтенсивності руху на примиканні	Коефіцієнт завантаження системи K_a	Коефіцієнт збільшення максимальної інтенсивності руху K_N
Прямий напрямок			
$N < \frac{3600 \cdot 2}{t_p + t_{\min}}$	Заходи не передбачаються	$< 0,5$	1,0
$\frac{3600 \cdot 2}{t_p + t_{\min}} \leq N \leq \frac{3600}{t_{\min}}$	1. Влаштування ПШС для виконання повороту праворуч з другорядної дороги на головну; 2. Влаштування ПШС для виконання повороту праворуч з головної дороги на другорядну (при умові, що $t_{\text{гал}} > t_{\min}$)	0,5 – 0,9	1,2 – 1,4
$N > \frac{3600}{t_{\min}}$	Влаштування розв'язки в різних рівнях	0,9 – 0,95	1,4– 1,6
$N > \frac{3600}{t_{\min}}$	Переведення дороги у вищу категорію	$> 0,95$	$> 1,6$
Зворотний напрямок			
$N < \frac{3600 \cdot 2}{t_p + t_{\min}}$	Заходи не передбачаються	$< 0,5$	1,0
$\frac{3600 \cdot 2}{t_p + t_{\min}} \leq N < \frac{3600}{t_{\min}}$	Влаштування ПШС для виконання повороту ліворуч з другорядної дороги	0,5 – 0,9	1,2 – 1,4
$N = \frac{3600}{t_{\min}}$	Влаштування допоміжної смуги для виконання повороту ліворуч з головної дороги на другорядну	0,9 – 0,95	1,4 – 1,6
$N > \frac{3600}{t_{\min}}$	Влаштування розв'язки в різних рівнях	0,95	1,4– 1,6
$N > \frac{3600}{t_{\min}}$	Переведення дороги у вищу категорію	$> 0,95$	$> 1,6$

За рахунок влаштування з'їздів на перехрещенні чи примиканні кривими змінних радіусів можливо зменшити інтервал гальмування для звільнення смуги руху головної дороги при виконанні маневру повороту праворуч з головної дороги на другорядну і відповідно збільшити інтенсивність руху на головній дорозі.

В табл. 4.2 приведено розрахунки економії часу при виконанні маневру повороту праворуч із головної дороги при влаштуванні кривої з'їзду двома перехідними кривими при швидкості 90 км/год

Таблиця 4.2 – Зменшення часу для звільнення смуги руху головної дороги

Мінімальний радіус з'їзду, м	Довжина перехідної кривої, м	Зменшення відстані звільнення основної смуги руху, м	Зменшення часу виконання маневру, с
15	15	-	-
15	20	2,5	-
15	30	7,5	1
20	20	0,9	-
20	30	6,8	0,91
20	40	12,5	1,55
25	25	2,7	-
25	30	6,3	0,9
25	40	11,8	1,3

Проектування з'їздів на перехрещенні чи примиканні кривими змінного радіусу та різної довжини дозволяє забезпечити проїзд великогабаритних автомобілів із забезпеченням безпеки руху. В табл. 4.3 представлено розрахунки допустимої довжини великогабаритних автомобілів з можливістю виконання маневру повороту на з'їзді влаштованому кривими змінного радіусу.

Таблиця 4.3 – Залежність довжини великогабаритних автомобілів від радіуса та довжини перехідної кривої

II категорія					
R=15 м		R=20м		R=25м	
Довжина перехідної кривої, м	Допустима довжина автомобіля l_a , м	Довжина перехідної кривої, м	Допустима довжина автомобіля l_a , м	Довжина перехідної кривої, м	Допустима довжина автомобіля l_a , м
1	2	3	4	5	6
15	11,6	20	13,9	25	16,2
20	16,8	25	18,9	30	21,1
25	23,3	30	25	35	26,9
30	30,9	35	31,9	40	33,4
50	68,9	50	57,3	50	48,5
1	2	3	4	5	6
III категорія					

Кінець табл. 4.3

1	2	3	4	5	6
15	10,8	20	13,2	25	15,5
20	16,1	25	18,2	30	20,4
25	22,6	30	24,3	35	26,2
30	30,2	35	31,2	40	32,7
50	68,3	50	56,6	50	47,8
IV категорія					
15	9,4	20	11,7	25	14,1
20	14,7	25	16,8	30	19
25	21,2	30	22,9	35	24,8
30	28,8	35	29,8	40	31,3

На основі проведених розрахунків та виконанні розроблених заходів встановлюється максимальна інтенсивність руху на ділянці автомобільної дороги, що визначає період ефективного функціонування ділянки автомобільної дороги без проведення реконструкції із забезпеченням безпечного руху автомобілів та без зменшення середньої швидкості руху.

Висновки до розділу 4

1. Удосконалений метод розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги на основі середньої швидкості руху транспортного потоку в сучасних умовах не потребує розрахунку теоретичної пропускної здатності та використання понижуючих коефіцієнтів.

2. Удосконалений метод розрахунку середньої швидкості руху транспортного потоку в залежності від категорії дороги, складу транспортного потоку, геометричних параметрів дороги в сучасних умовах, що враховує чинник, який найбільше впливає на зменшення середньої швидкості руху транспортного потоку без необхідності проведення експериментальних досліджень на автомобільній дорозі.

3. Розроблена методика підвищення максимальної інтенсивності руху та визначення періоду ефективного функціонування автомобільної дороги, яка дозволяє визначити граничне значення інтенсивності руху, після досягнення якого виникає необхідність проведення реконструкції.

4. Результати досліджень даного розділу викладено у наступних публікаціях [25, 29, 30, 31].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведене теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової задачі, що полягає в удосконаленні методу розрахунку максимальної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги з урахуванням впливу перехресть та примикань.

Основними результатами дисертаційної роботи є:

1. Проведений аналіз існуючих методів розрахунку максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі виявив велику розбіжність отриманих результатів від 200 до 600 авт/год методом понижуючих коефіцієнтів, від 100 до 400 авт/год смугою руху – на основі залежностей «інтенсивність – швидкість» моделей транспортного потоку та експериментальних досліджень. Розбіжність результатів розрахунку вищенаведеними методами викликана недостатнім урахуванням чинників, що впливають на рух транспортного потоку автомобільною дорогою. Тому удосконалення методу розрахунку максимальної інтенсивності руху є актуальною науковою задачею.

2. Встановлено залежність «інтенсивність – швидкість» для різного складу транспортного потоку та область її застосування з метою розрахунку максимальної інтенсивності руху з урахуванням впливу перехресть та примикань. На основі проведених експериментальних досліджень встановлено величини швидкості вільного руху та середньої швидкості руху транспортного потоку.

На відміну від існуючих методів розрахунку максимальної інтенсивності руху на автомобільній дорозі в удосконаленому методі склад транспортного потоку враховується середньою довжиною автомобіля у транспортному потоці.

Проведені дослідження дозволили удосконалити урахування впливу радіусів горизонтальних кривих та поздовжніх похилів на середню швидкість руху транспортного потоку. Результати досліджень використовуються для побудови графіка середньої швидкості руху транспортного потоку в прямому і зворотному напрямках, що в подальшому приймається для розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги.

3. Удосконалено метод розрахунку максимальної інтенсивності руху на ділянці між суміжними перехрещеннями та примиканнями із урахуванням максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги та перехрещень і примикань на одному рівні різних типів, який дозволяє встановити максимальне значення інтенсивності руху в конкретних дорожніх умовах без зміни умов руху.

4. Розроблено методику підвищенню максимальної інтенсивності руху та визначення періоду ефективного функціонування ділянки автомобільної дороги. Запропоновані заходи передбачають зміну конфігурації перехрещень і примикань на одному рівні за рахунок побудови перехідно-швидкісних смуг, виділення допоміжних смуг для виконання повороту ліворуч із головної дороги, будівництво перехрещень з віднесеними з'їздами для виконання повороту ліворуч, що підвищує максимальну інтенсивність руху до 1,8 раз. Збільшення максимальної інтенсивності руху за рахунок улаштування з'їздів кривими змінного радіусу дозволяє забезпечити проїзд великогабаритних автомобілів та зменшити час для звільнення смуги руху головної дороги при виконанні повороту праворуч. Збільшення радіусів горизонтальних кривих, зменшення поздовжніх похилів підвищує продуктивність роботи ділянки автомобільної дороги за рахунок збільшення швидкості руху на них і відповідно зменшення часу проїзду.

Удосконалений метод дозволяє визначити період функціонування автомобільних доріг різних категорій до значення пропускної здатності без проведення реконструкції, що зменшує капітальні витрати по реконструкції до 50 %. Згідно цього методу, ділянка автомобільної дороги III категорії Київ – Суми від перехрещення з автомобільною дорогою Ніжин – Прилуки до перехрещення з автомобільною дорогою Ічня – Прилуки може працювати до досягнення максимальної інтенсивності руху 6000 авт/добу без реконструкції.

5. Результати дисертаційної роботи впроваджені у проектних організаціях підпорядкованих Державній службі автомобільних доріг України, розроблений відомчий документ М 218 – 02070915 – 674 : 2010 «Методика визначення рівня завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агамирзян Л.С. К вопросу определения пропускной способности магистралей // Организация и безопасность дорожного движения. Тбилиси, 1979. С. 35-39.
2. Адасинский В.С. Пропускная способность участков дорог в пределах населенных пунктов сельского типа. Проектирование автомобильных дорог и безопасность движения: сб. науч. тр. М.: МАДИ, 1980. С. 34-38.
3. Анохин Б.Б. Влияние сочетаний элементов двухполосных автомобильных дорог на пропускную способность. Сб. науч. тр. ГипродорНИИ. Москва: ГипродорНИИ, 1980. С. 36.
4. Анохин Б.Б. Методические указания по определению пропускной способности автомобильных дорог при проектировании. Отчет СоюздорНИИ, 1975. 39 с.
5. Анохин Б.Б. Определение пропускной способности автомобильных дорог с учетом влияния режимов движения. Сб. науч. тр. ГипродорНИИ. Москва: ГипродорНИИ, 1970. С. 85-86.
6. Анохин Б.Б. Скорости движения и пропускная способность двухполосных автомобильных дорог. *III Всесоюзная межвузовская конференция: тезисы докладов и сообщений (Ташкент, 10-12 ноября 1981)*. Ташкент, 1981.
7. Аппельт Ф. Давыдов С.А. Выбор схемы пересечения// Автомобильные дороги. Москва: МАДИ, 2010. № 8. С. 35-39.
8. Бабков В.Ф., Андреев В.Ф. Проектирование автомобильных дорог: учеб. пособ. Изд. 2-е, перераб. и доп. Москва: Транспорт, 1987. 368 с.
9. Бабков В. Ф. Проблемы безопасности дорожного движения. Проектирование автомобильных дорог и безопасность движения : сб. науч. тр. Москва: МАДИ, 1990. С. 4-11.

10. Білятинський О.А., Старовойда В.П. Дорожні розв'язки із розгалуженими проїздами. Автошляховик України. 2006. №4. С.40-41.
11. Бируля А.К. Влияние интенсивности автомобильного движения на его скорость. Труды ХАДИ. 1975. № 9. С. 5-14.
12. Бируля А.К. Проектирование автомобильных дорог. Москва: Дориздат, 1948. 390 с.
13. Богвелишвили З., Цвилашвили Л. Исследование задержки транспортных средств на перекрестке. Мецниереба да технол. 2004. № 1–3. С. 64-66.
14. Васильева Г.Ю. Точність оцінки затримок транспорту на регульованих перехрестях у центрах міст. Містобудування та територіальне планування. Київ : КНУБА, 2005. Вип.21. С. 37-52.
15. ВБН В.2.3-218-192:2005. Відомчі будівельні норми. Перехрещення та примикання автомобільних доріг в одному рівні Методи проектування та організації дорожнього руху. Київ : Укравтодор, 2005. 25 с.
16. Вентцель Е.С. Исследование операций. Москва: Советское радио, 1972. 552 с.
17. ВСН 103-74. Технические указания по проектированию пересечений и примыканий автомобильных дорог. [Действующий с 1974-23-08]. Москва : Транспорт, 1975. С. 54.
18. Гмурман В.Е. Теория вероятности и математическая статистика. Москва : Высшая школа, 2008. С. 76-78, 85-98, 240-243.
19. Гохман В.А., Визгалов В.М., Поляков М.П. Пересечение и примыкание автомобильных дорог Москва : Высшая школа, 1989. С. 53-63.
20. ДБН В.2.3 – 4:2015. Державні будівельні норми. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. [Чинний від 2016-01-04]. Київ, 2015.
21. Дідківська Л.С. Експериментальна оцінка критеріїв стаціонарності транспортних потоків. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. К. : НТУ, 2011. Вип. 79. С.127-132.

22. Додух К.М., Неівестна Н.В. Розробка заходів із покращення умов руху на автомобільних дорогах // Автошляховик України. К.: 2014. № 5 (241). С.26-29.

23. Додух К., Пальчик А. Практическая пропускная способность полосы движения автомобильной дороги // Modern management review. Rzeszow: Politechnika Rzeszowska, 2015. № 22 (1/2015), С. 155-171. (p-ISSN 2300-6366, e-ISSN 2353-0758)

24. Додух К.М., Пальчик А.М., Неівестна Н.В. Практична пропускна здатність автомобільних доріг // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. К. : НТУ, 2014. Вип. 91. С. 12-17.

25. Додух К.М., Пальчик А.М. Неівестна Н.В. Пропускна здатність автомобільних доріг. *Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів* : матер. Міжн. наук.-техн. конф. (Харків, жовтень 2010). Харків: ХНАДУ, 2010. С. 38 – 43.

26. Додух К.М., Пальчик А.М. Практична пропускна здатність. *Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики* : 15-та Міжн. наук.-практ. конф. (Київ, жовтень 2013). Київ: НТУ, 2013. С. 158 – 160.

27. Додух К.М., Пальчик А.М. Пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги // Проблеми транспорту: збірник наукових праць. К.: НТУ, 2010. Вип. 7. С. 94 – 100.

28. Додух К.М., Пальчик А.М. Пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги. *Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг та аеродромів* : матер. Міжн. наук.-техн. конф. (Харків, 01-04.11.2012). Харків: ХНАДУ, 2012. С. 213 – 215.

29. Додух К.М. Практична пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги. *International Scientific and Practical Internet Conference. World Science* : матер. Міжн. наук.-практ. інтернет-конф. (22-24.09.2014). Dubai, UAE. 2014. С. 38-41.

30. Додух К.М. Практична пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги // Вісник Національного транспортного університету. К. : НТУ, 2013. Вип.28. С. 164-169.

31. Додух К.М. Пропускна здатність перехрещень автомобільних доріг в одному рівні // Проблеми транспорту: збірник наукових праць К.: НТУ, 2010. Вип. 7. С. 101 – 105.

32. Додух К.М. Пропускна здатність примикань автомобільних доріг в одному рівні . Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг та аеродромів : матер. Міжн. наук.-техн. конф. (Харків, 01-04.11.2012). Харків: ХНАДУ, 2012. С. 120 – 123.

33. Додух К.М., Шостак С.М. Інформаційне забезпечення водіїв в складних дорожніх умовах // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво.К.:НТУ, 2013. Вип. 90. С. 218-221.

34. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / пер. с англ. Е. Г. Коваленко. Москва : Транспорт, 1974. 423 с.

35. ДСТУ 3587–97. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану. Київ : Держстандарт України, 1997. 23 с.

36. ДСТУ 2587 : 2010. Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні вимоги. Методи контролювання. Правила застосування. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 59 с.

37. ДСТУ 4100–2002. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування : – Київ : Держстандарт України, 2002. 58 с.

38. ДСТУ Б В. 2.3–9–2003. Споруди транспорту. Пристрої дорожні напрямні. Загальні технічні умови. Київ : Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2003. 11 с.

39. Заворицький В.Й., Старовойда В.П., Чвак В.С. Селищі вулиці й дороги : навч. посіб. Київ : НМК ВО, 1992. С. 43-45.

40. Исследование зависимостей «скорость – интенсивность – плотность»: Организация и безопасность дорожного движения. Москва : Экспресс информация. 1977. № 5. С. 14-18.

41. Калужский Я.А., Гук В.Н. Предложения по определению пропускной способности. Городское хозяйство Москвы, 1970. №6. С. 27-28.

42. Каюмов Б. К. Исследование граничных интервалов времени на кольцевых пересечениях. Проектирование автомобильных дорог и безопасность движения, 1979. Вып. 163. С. 1-150.

43. Каюмов Б.К. Планировка кольцевых пересечений автомобильных дорог. Труды МАДИ, 1979. Вып. 179. С. 37.

44. Кероглу Л.А. Исследование пропускной способности автомобильных дорог. Москва : Автотрансиздат, 1963. 85 с.

45. Красильнікова О.В., Охрименко О.А., Поліщук В.П. Автоматизоване управління дорожнім рухом на перегонах автомагістралей. Безпека дорожнього руху України. 2006. №3. С. 78-87.

46. Красников А.Н. Закономерности распределения интервалов между автомобилями на многополосных автомобильных дорогах. Труды МАДИ. 1975. Вып. 95. С. 74-83.

47. Красников А.Н. Пропускная способность многополосных автомобильных магистралей на переходах к городам. Труды МАДИ. 1976. Вып. 99. С. 100-109.

48. Крылов Ю.С. Режимы движения и пропускная способность автомобильных дорог. Автомобильные дороги. 1959. № 6. С. 10-11.

49. Лебедев Б. М. Режимы движения автомобилей на кольцевых пересечениях в одном уровне. Повышение транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных. дорог : сб. науч. трудов МАДИ. 1970. С.37.

50. Лобанов Е.М. Исследование пропускной способности нерегулируемых узлов автомобильных дорог в одном уровне: дис. канд. техн. наук : 05.22.11 / МАДИ. Москва., 1965. 220 с.

51. Лобанов Е.М. О нормах проектирования пересечений в одном уровне. Автомобильные дороги. 1967. № 4. С. 16-18.
52. Лобанов Е. М. Проектирование дорог и организация движения с учётом психофизиологии водителя. Москва : Транспорт, 1980. 312 с.
53. Лобанов Е.М., Сильянов В.В. Пропускная способность автомобильных дорог. Москва : Транспорт, 1970. 152 с.
54. Медведєв М.Г., Пащенко І.О. Теорія ймовірностей та математична статистика : підручник. Київ: Ліра-К, 2008. 536 с.
55. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог : ОДМ 218.2.020-2012. Москва : Росавтодор, 2012. 90 с.
56. Метсон Т.М., Смит У.С., Хард Ф.В. Организация движения / пер. с англ. Р.Л. Гончаровой, Н.Е. Елизарьева, М.С. Коросташевского, Е.В. Марского, П.П. Шипицо. – Москва, 1960. С. 131-142, 377, 406-412.
57. Неізнєстна Н.В. Пропускна здатність кільцевої розв'язки на одному рівні. *Проблеми транспорту*: зб. наук. праць. Київ : НТУ, 2010. С. 106-108.
58. Неізнєстна Н.В. Удосконалення проектування кільцевої розв'язки на одному рівні: дис. канд. техн. наук :05.22.11 /НТУ. Київ, 2012. 211 с.
59. Неізнєстна Н.В., Шрамко О.О. Визначення часу затримки транспорту при здійсненні маневрів на перехрещенні. *Автошляховик України*. Київ, 2008. Вип. 3. С. 32-34.
60. Пальчик А.Н. Влияние состава транспортного потока на величину пропускной способности автомобильных дорог. *III Всесоюзная межвузовская конференция 10-12 ноября 1981 г.*: тезисы докл. и сооб. Ташкент, 1981. С. 92-93.
61. Пальчик А.М., Кунда Н.Т. Розрахунок границь режимів руху транспортних потоків. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 1998. Вип. 55. С. 14-18.
62. Пальчик А.М. О пропускной способности автомобильных дорог. *Автошляховик України*. 1989. № 3. С. 44-45.
63. Пальчик А.М. Транспортні потоки : монографія. Київ : НТУ, 2010. 171 с.

64. Полищук В.П. К вопросу оценки условий движения на автомагистралях. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 1977. Вип. 21. С. 22-25.

65. Полищук В.П., Красильникова О.В. Учет вероятностного характера пропускной способности при использовании АСУД на дорогах высших категорий. Деп. УкрНИИНТИ, 24.09.90. № 1674-Ук 90. 9 с.

66. Полищук В.П. Проектирование переходно-скоросных полос на развязках автомобильных дорог в разных уровнях. Автомобильные дороги и дорожное строительство. Киев : Будивельник, 1971. Вып.7. С. 28-32.

67. Полищук В.П., Цыбенко Ю.А., Бородуля А.О. Математическая модель распределения транспортных потоков по улично-дорожной сети. Науково-технічний Вісник. Безпека дор.руху в Україні. 1999. Вип.1(2). С. 98-105.

68. Поліщук В.П., Дзюба О.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху. Київ: Знання України, 2008. 175 с.

69. Поліщук В.П., Красильнікова О.В. Визначення пропускної здатності дороги в умовах функціонування АСУД. Автодорожній комплекс. Проблеми і шляхи розвитку : зб. наук. праць. Київ : УТУ, Укравтодор, 1998. С. 297-299.

70. Поліщук В.П., Красильнікова О.В. Дослідження умов безпеки руху щільних транспортних потоків. Автошляховик України. 1995. №1. С. 33-35.

71. Поліщук В.П., Красильнікова О.В. Оцінка стану транспортного потоку в умовах функціонування АСУР. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2001. Вип. 63. С. 354-357.

72. Поліщук В.П., Лановий О.Т., Бондар Т.В. Визначення рівнів безпеки руху на автомобільних дорогах загального користування. Вісник Національного транспортного університету. Київ : НТУ, 2009. №. 15. С. 113-121.

73. Правила диагностики и оценко состояния автомобильных дорог: ОДН 218.0.006-2002. М.: Росавтодор, 2002.

74. Применение теории массового обслуживания в проектировании автомобильных дорог / Калужский Я.А., Бегма И.В., Кисляков В.М., Филиппов В.В. Москва: Транспорт, 1969. С. 23 – 40.

75. Поспелов П. И. Проектирование автомобильных дорог : сб. науч. тр. Москва : МАДИ, 2007. С. 131.

76. Проектирование и изыскание пересечений автомобильных дорог / Е.М. Лобанов, В.М. Шевяков, В.А. Гохман и др. Москва: Транспорт, 1972. С. 40-84.

77. Проектування автомобільних доріг. Частина I : підруч. для студ. вищ. навч. закл. / О.А. Білятинський, В.Й. Заворицький, В.П. Старовойда, Я.В. Хом'як. Київ : Вища школа, 1997. С. 48.

78. Пропускная способность дорог / Лобанов Е.М., Сильянов В.В., Ситников Ю.М., Сапегин Л.Н. Москва : Транспорт, 1977. С. 303.

79. РТМ 44-62. Методика статистической обработки эмпирических данных : Москва : изд-во комитета стандартов, мер и измерительных приборов при совете министров СССР, 1966. С. 22-23, 27.

80. Руководство по оценке пропускной способности автомобильных дорог / Сильянов В.В., Биннатов А.Г., Варна Я.Э. и др. под ред. Л.Н. Пустовалова. Москва : Минавтодор РСФСР, 1982. С. 39-40, 77-79.

81. Середяк Я.І. Пропускна здатність кривих малого радіусу в складних дорожніх умовах. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Київ, 1972. Вип. 10. – С. 48-50.

82. Сильянов В.В., Домке Э.Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц : учеб. пособие. Москва : Академия, 2008. 349 с.

83. Сильянов В.В., Ситников Ю.М., Санегин Л. Н. Расчеты скоростей движения на автомобильных дорогах : учеб. пособие. Москва : МАДИ, 1978. 114 с.

84. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. Москва : Транспорт, 1977. С. 97-118, 276-282.

85. Систематологія на транспорті: Підручник: у 5 кн./ заг. ред. М.Ф. Дмитриченко. Київ : Знання України, 2007. Кн.4 : Організація дорожнього руху

/ Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля, О.Т. Лановий, І.Е. Линник, В.П. Поліщук. 452 с.

86. Систематологія на транспорті: Підручник: у 5 кн./ заг. Ред. М.Ф. Дмитриченка. Київ : Знання України, 2009. Кн.3 : Дослідження операцій у транспортних системах / Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля, О.Т. Лановий, І.Е. Линник, В.П. Поліщук. 375 с.

87. Смирнова Н.В. Методология целевого поиска оптимального проектного решения двухполосных автомобильных дорог общего пользования: дис. доктора техн. наук: 05.22.11 / ХНАДУ. Харьков, 2015. 370 с.

88. Трибунский В.М. Влияние дорожных условий на пропускную способность автомобильных дорог. Москва : МАДИ, 1971. 24 с.

89. Трибунский В.М. Режимы движения потоков автомобилей и пропускная способность дорог. Труды МАДИ. 1972. Вып. 37. С. 78-85.

90. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. Москва : Мир, 1966. 286 с.

91. Хом'як Я.В., Макаренко М.М. Пропускная способность двухполосных дорог при заданных режимах движения. Автодорожник Украины, 1968. №3. С. 28-30.

92. Хом'як Я.В. Транспортно-експлуатаційні якості автомобільних доріг і безпека руху : навч. посібник . Київ : КАДІ, 1980. С. 30-34, 51-68.

93. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Guide for Development of Bicycle Facilities. Washington, D.C. AASHTO, 1991. 81 p.

94. American Association of State Highway Officials (AASHO). A Policy on Design of Urban Highways and Arterial Streets. Washington, D.C. AASHO, 1973. 41 p.

95. Australia. Traffic Act, 1962. Part 6A. 77 p.

96. Brilon Werner, Estel Anja. (2010). Differentiated analysis of level of service f within the German highway capacity manual. Transportation Research Record, 2010. P. 36-44.

97. Brilon W, Vendhey M. Roundabouts : The State of the Art in Germany, *ITE Journal*. November, 1998. P. 48 – 54.
98. Brilon W. Roundabouts : A State of the Art in Germany. *National Roundabout Conference*. Vail, Colorado. May, 22 – 25, 2005. P. 16.
99. Capacity and Level of Service at Finnish Unsignalized Intersections / Finnra Reports, 2004. 214 p.
100. Cungin W.D. Messer C.J. *Transp. Res. Rec*, 1983. №905. P. 61-69.
101. Department of Transport (United Kingdom) // The Highway Code. Department of Transport and the Central Office of Information for Her Majesty's Stationery Office, 1996. P. 85.
102. Drew D.R. Deterministic aspects of Freeway Operations and Control. *Highw. Res.Rec*, 1965. №99. P. 48-58.
103. Federal Highway Administration (FHWA). Manual on Uniform Traffic Control Devices. Washington, D.C.: FHWA, 1988. P. 22.
104. Highway Capacity Manual. Highway Research Board. Special Report, 1965. №87. 398 p.
105. Kittelson Wayne K., Roess Roger P. Highway capacity analysis after Highway Capacity Manual, 2000.
106. Mini-roundabouts – A Definitive Guide. Traffic Engineering Consultant, 2007. P. 64.
107. Mini-roundabouts – Getting them right. Clive Sawers. Traffic Engineering Consultant, 1996. P. 32.
108. National Committee on Uniform Traffic Laws and Ordinances (NCUTLO). Uniform Vehicle Code and Model Traffic Ordinance. Evanston, Illinois: NCUTLO, 2000. P. 78.
109. NCHRP Report 572. Roundabouts in the United States. *Transportation Research Board. National Research Council*. Washington, D.C. 2007. P. 125.
110. NCHRP Synthesis 264. Modern Roundabout Practice in the United States A Synthesis of Highway Practice. *Transportation Research Board. National Research Council*. Washington, D.C. 1998. P. 82.

111. Roess Roger P. Speed-flow curves for freeways in Highway Capacity Manual 2010. Transportation Research Record(2257), 10-21. doi: 10.3141/2257-02.
112. Roundabout Design Standards. City of Colorado Springs. Transportation Engineering, 2005. P. 22.
113. Roundabouts: An Informational Guide. Federal Highway Administration. Publication No FHWA–RD-00-67. June, 2000. P. 277.
114. Tarko A., Songchitruksa P. (2003). Reporting uncertainty in the highway capacity manual-survey results. Transportation Research Board.
115. The Road Capacity & Costs Model. Research Report. National transport model - forge. April, 2005.
116. TRL report 281. Accidents at urban mini-roundabouts. Transportation Research Board. National Research Council, 1998. P. 23.
117. TRL State of the Art Review – The Design of Roundabouts by Mike Brown. HMSO, 1995. P. 45.
118. Transportation and Traffic Engineering Handbook. ITTE: New York, 1975. 1080 p.
119. Washington Simon. National Cooperative Highway Research Program. National Research Council. Transportation Research Board American Association of State Highway Transportation Officials. (2006). Incorporating safety into long-range transportation planning. Washington, D.C.: Transportation Research Board.

ДОДАТОК А

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ «ІНТЕНСИВНІСТЬ – ШВИДКІСТЬ»

Таблиця А.1 – Вихідні дані для дослідження залежності «інтенсивність-
швидкість» по типам автомобілів

№п/п	легкові автомобілі				
	V,км/год	N,авт/год	№п/п	V,км/год	N,авт/год
1	10	1550	40	51	1161
2	10	1600	41	51	1200
3	10	1450	42	51,3	1400
4	15	1600	43	51,7	1100
5	15	1500	44	52	1299
6	15	1420	45	52	1200
7	20	1520	46	52,8	1250
8	20	1590	47	52,9	1300
9	20	1470	48	54	1200
10	25	1550	49	54	1060
11	25	1620	50	55	1300
12	25	1600	51	55	1180
13	29,5	1520	52	55,3	1100
14	30	1490	53	56	1200
15	30	1560	54	56	1100
16	31,5	1580	55	56,2	1020
17	34	1560	56	56,5	1100
18	35	1470	57	56,6	1170
19	35	1520	58	57	1200
19	36	1500	59	57	1000
20	37,7	1450	60	57,6	1080
21	38	1420	61	58	1100
22	39,3	1480	62	58	1008
23	39,6	1450	63	58,1	1080
24	40,3	1400	64	58,1	980
25	41,7	1440	65	58,1	1150
26	41,9	1400	66	60	1091
27	42	1350	67	63	900
28	42,4	1500	68	63	1090
29	42,5	1385	69	65	950
30	44,5	1310	70	65	900
31	45,4	1280	71	65	800
32	46	1450	72	65,5	992
33	46	1420	73	65,5	1010
34	48	1260	74	66,5	950
35	48,3	1200	75	66,5	800
36	49	1290	76	68,4	800
37	49	1240	77	73	700
38	49,5	1360	78	75	800
39	49,5	1240	79	76	680

Кінець табл. А.1

№п/п	вантажні автомобілі		№п/п	автопотяги	
	V,км/год	N,авт/год		V,км/год	N,авт/год
1	10	950	1	10	540
2	15	1000	2	15	575
3	20	1010	3	20	610
4	25	950	4	25	650
5	31,5	1020	5	29,5	650
6	34	1050	6	30	590
7	35	1050	7	31,5	630
8	39,3	1002	8	34	597
9	41,9	990	9	35	630
10	42,5	960	10	36	590
11	44,5	950	11	37,7	615
12	45,4	950	12	38	595
13	46	940	13	39,6	650
14	49	880	14	40,3	605
15	49,5	860	15	41,7	650
16	51	840	16	42	630
17	52	860	17	42,4	602
18	52,8	790	18	44,5	620
19	52,9	780	19	45,4	597
20	54	850	20	46	579
21	56	750	21	48	600
22	56,5	750	22	48,3	625
23	56,6	720	23	49,5	580
24	58	700	24	51	546
25	58,1	700	25	51,3	530
26	58,2	710	26	51,7	519
27	63	680	27	52	536
28	63	680	28	52,8	545
29	65	650	29	52,9	560
30	65	650	30	54	550
31	65,7	610	31	55	520
32	68,4	580	32	55,3	525
33	76	510	33	56	518
			34	56,2	480
			35	56,6	468
			36	57	440
			37	57,6	426
			38	58	480
			39	58	410
			40	58,1	440
			41	58,1	468
			42	60	448
			43	63	430
			44	65	416
			45	65	375
			46	65,5	350
			47	68,4	320
			48	73	348
			49	75	250

Таблиця А.2 – Розрахунок необхідної кількості замірів по визначенню залежності «інтенсивність – швидкість» для легкових автомобілів

Легкові автомобілі					
Інтервали швидкостей	Середина інтервалу	Частота m_i	x'_i	$m_i x'_i$	$m_i (x'_i)^2$
20-25	22,5	4	-6	-24	144
25-30	27,5	3	-5	-15	75
30-35	32,5	5	-4	-20	80
35-40	37,5	7	-3	-21	63
40-45	42,5	7	-2	-14	28
45-50	47,5	9	-1	-9	9
50-55	52,5	9	0	0	0
55-60	57,5	16	1	16	16
60-65	62,5	3	2	6	12
65-70	67,5	8	3	24	72
70-75	72,5	1	4	4	16
75-80	77,5	2	5	10	50
		74		-43	565

Таблиця А.3 – Розрахунок необхідної кількості замірів по визначенню залежності «інтенсивність – швидкість» для вантажних автомобілів

Вантажні автомобілі					
Інтервали швидкостей	Середина інтервалу	Частота m_i	x'_i	$m_i x'_i$	$m_i (x'_i)^2$
20-25	22,5	1	-5	-5	25
25-30	27,5	1	-4	-4	16
30-35	32,5	2	-3	-6	18
35-40	37,5	2	-2	-4	8
40-45	42,5	3	-1	-3	3
45-50	47,5	4	0	0	0
50-55	52,5	5	1	5	5
55-60	57,5	6	2	12	24
60-65	62,5	2	3	6	18
65-70	67,5	4	4	16	64
70-75	72,5	1	5	5	25
		31		22	206

Таблиця А.4 – Розрахунок необхідної кількості замірів по визначенню залежності «інтенсивність – швидкість» для автопотягів

Автопотяги					
Інтервали швидкостей	Середина інтервалу	Частота m_i	x'_i	$m_i x'_i$	$m_i (x'_i)^2$
20-25	22,5	1	-5	-5	25
25-30	27,5	2	-4	-8	32
30-35	32,5	3	-3	-9	27
35-40	37,5	5	-2	-10	20
40-45	42,5	5	-1	-5	5
45-50	47,5	5	0	0	0
50-55	52,5	7	1	7	7
55-60	57,5	10	2	20	40
60-65	62,5	2	3	6	18
65-70	67,5	4	4	16	64
70-75	72,5	1	5	5	25
75-80	77,5	1	6	6	36
		46		23	299

Таблиця А.5 – Розрахунок коефіцієнта кореляції для легкових автомобілів

Легкові автомобілі		x'_i	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7					
		середина інтервалу	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5	62,5	67,5	72,5	77,5					
y'_i	середина інтервалу	v x	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	75-80		$n_{y'}$	$n_{y'} \cdot y'$	$n_{y'} \cdot (y')^2$	
-10	675	650-700													1	1		2	-20	200	
-9	725	700-750																			
-8	775	750-800											1	2	1			4	-32	256	
-7	825	800-850																			
-6	875	850-900											2					2	-12	72	
-5	925	900-950											1	1				2	-10	50	
-4	975	950-1000										2		1				3	-12	48	
-3	1025	1000-1050										2		1				3	-9	27	
-2	1075	1050-1100									2	7	1					10	-20	40	
-1	1125	1100-1150										1						1	-1	1	
0	1175	1150-1200								1	5	3						9	0	0	
1	1225	1200-1250								2	1							3	3	3	
2	1275	1250-1300								3	3							6	12	24	
3	1325	1300-1350							2									2	6	18	
4	1375	1350-1400							3	1	1							5	20	80	
5	1425	1400-1450	2					3	1	2								8	40	200	
6	1475	1450-1500	1	1		1	1	2	1									7	42	252	
7	1525	1500-1550	1	1	1	1	1											5	35	245	
8	1575	1550-1600	2	1	1	1	2											7	56	448	
9	1625	1600-1650			1													1	9	81	
$r_{xy} = -0,86$		$n_{x'}$	6	3	3	3	4	5	4	9	12	15	5	5	2	1	$\sum n_{x'}$	80	$\sum n_{y'}$	$\sum n_{y'} \cdot y'$	$\sum n_{y'} \cdot (y')^2$
		$n_{x'} \cdot x'_i$	-36	-15	-12	-9	-8	-5	0	9	24	45	20	25	12	7	$\sum n_{x'} \cdot x'_i$	57			
		$n_{x'} \cdot (x'_i)^2$	216	75	48	27	16	5	0	9	48	135	80	125	72	49	$\sum n_{x'} \cdot (x'_i)^2$	905			
		$\sum n_{x'y'} \cdot y'$	39	21	24	21	29	27	29	22	7	-29	-27	-28	-18	-10	$\sum (n_{x'y'} \cdot y')$	107			
				$\sum n_{x'y'} \cdot y'x'$	-234	-105	-96	-63	-58	-27	0	22	7	-58	-100	-140	-108	-70	$\sum (n_{x'y'} \cdot y'x')$	-1030	80

Таблиця А.6 – Розрахунок коефіцієнта кореляції для вантажних автомобілів

Вантажні автомобілі		x'_i	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7					
		середина інтервалу	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5	62,5	67,5	72,5	77,5					
y'_i	середина інтервалу	v x	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	75-80		$n_{y'}$	$n_{y'} \cdot y'$	$n_{y'} \cdot (y')^2$	
-5	525	500-550														1		1	-5	25	
-4	575	550-600												1				1	-4	16	
-3	625	600-650											2	1				3	-9	27	
-2	675	650-700										2	2					4	-8	16	
-1	725	700-750										4						4	-4	4	
0	775	750-800									2							2	0	0	
1	825	800-850									2							2	2	2	
2	875	850-900								2	1							3	6	12	
3	925	900-950	1		1				1	2								5	15	45	
4	975	950-1000	1						2									3	12	48	
5	1025	1000-1050		1			3	1										5	25	125	
$r_{xy} = -0,91$		$n_{x'}$	2	1	1		3	1	3	4	5	6	4	2		1	$\Sigma n_{x'}$	33	$\Sigma n_{y'}$	$\Sigma n_{y'} \cdot y'$	$\Sigma n_{y'} \cdot (y')^2$
		$n_{x'} \cdot x'_i$	-12	-5	-4		-6	-1	0	4	10	18	16	10		7	$\Sigma n_{x'} \cdot x'_i$	37			
		$n_{x'} \cdot (x'_i)^2$	72	25	16		12	1	0	4	20	36	64	50		49	$\Sigma n_{x'} \cdot (x'_i)^2$	349			
		$\Sigma n_{x'y'}$	7	5	3		15	5	11	10	4	-8	-10	-7		-5	$\Sigma (n_{x'y'} \cdot y')$	30			
				$\Sigma n_{x'y'} \cdot y' x'$	-42	-25	-12		-30	-5	0	1	8	-24	-40	-35		-35	$\Sigma (n_{x'y'} \cdot y' x')$	-239	33

Таблиця А.7 – Розрахунок коефіцієнта кореляції для автопотягів

Автопотяги		x'_i	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6					
		середина інтервалу	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	52,5	57,5	62,5	67,5	72,5					
y'_i	середина інтервалу	x v	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75		$n_{y'}$	$n_{y'} \cdot y'$	$n_{y'} \cdot (y')^2$	
-4	225	200-250													1		1	-4	16	
-3	275	250-300																		
-2	325	300-350												2	1		3	-6	12	
-1	375	350-400											1				1	-1	1	
0	425	400-450										5	2				7	0	0	
1	475	450-500										4					4	4	4	
2	525	500-550	1								7	2					10	20	40	
3	575	550-600	1			1	1	2		4	1						10	30	90	
4	625	600-650		1	1	1	2	2	5	1							13	52	208	
$r_{xy} = -0,76$		$n_{x'}$	2	1	1	2	3	4	5	5	8	11	3	2	2	$\sum n_{x'}$	49	$\sum n_{y'}$	$\sum n_{y'} \cdot y'$	$\sum n_{y'} \cdot (y')^2$
		$n_{x'} \cdot x'_i$	-12	-5	-4	-6	-6	-4	0	5	16	33	12	10	12	$\sum n_{x'} \cdot x'_i$	51			
		$n_{x'} \cdot (x'_i)^2$	72	25	16	18	12	4	0	5	32	99	48	50	72	$\sum n_{x'} \cdot (x'_i)^2$	453			
		$\sum n_{x'y'} \cdot y'$	5	4	4	7	11	14	20	16	17	8	-1	-4	-6	$\sum (n_{x'y'} \cdot y')$	95			
				$\sum n_{x'y'} \cdot y'x'$	-30	-20	-16	-21	-22	-14	0	16	34	24	-4	-20	-36	$\sum (n_{x'y'} \cdot y'x')$	-109	49

ДОДАТОК Б

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕРЕДНЬОЇ ШВИДКОСТІ ВІЛЬНОГО РУХУ ТА ЇХ СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА

Таблиця Б.1 – Статистична обробка швидкості вільного руху легкових автомобілів на дорозі І-а категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
Митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
60.01...65	62,50	0	0,0	-28,67	821,78	-5,45671	0,0000	0,00000	0,00001	0,0000	0
65.01...70	67,50	0	0,0	-23,67	560,11	-4,50496	0,0000	0,00001	0,00149	0,0015	0
70.01...75	72,50	1	72,5	-18,67	348,44	-3,55321	0,0007	0,00069	0,06885	0,0703	1
75.01...80	77,50	2	155,0	-13,67	186,78	-2,60146	0,0135	0,01288	1,28788	1,3582	3
80.01...85	82,50	12	990,0	-8,67	75,11	-1,64970	0,1023	0,09738	9,73785	11,0961	14
85.01...90	87,50	30	2625,0	-3,67	13,44	-0,69795	0,3127	0,29761	29,76141	40,8575	43
90.01...95	92,50	35	3237,5	1,33	1,78	0,25380	0,3863	0,36766	36,76600	77,6235	76
95.01...100	97,50	18	1755,0	6,33	40,11	1,20555	0,1929	0,18359	18,35868	95,9822	93
100...105	102,50	4	410,0	11,33	128,44	2,15730	0,0389	0,03705	3,70543	99,6876	97
105...110	107,50	2	215,0	16,33	266,78	3,10906	0,0032	0,00302	0,30230	99,9899	99
110...115	112,50	1	112,5	21,33	455,11	4,06081	0,0001	0,00010	0,00997	99,9999	100
Сума		105	9572,5		2 897,89			1,00000	99,99987		

Середня швидкість = 91,17

КРОК= 5

V_{ср}= 91,16667

S= 5,25347

Таблиця Б.2 – Статистична обробка швидкості вільного руху вантажних автомобілів на дорозі І-а категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
55.01...60	57,50	3	172,5	-18,29	334,37	-3,95888	0,0002	0,00017	0,01706	0,0171	3
60.01...65	62,50	4	250,0	-13,29	176,51	-2,87638	0,0064	0,00690	0,68987	0,7069	7
65.01...70	67,50	9	607,5	-8,29	68,65	-1,79387	0,0798	0,08641	8,64109	9,3480	15
70.01...75	72,50	30	2175,0	-3,29	10,80	-0,71136	0,3098	0,33532	33,53178	42,8798	44
75.01...80	77,50	37	2867,5	1,71	2,94	0,37115	0,3724	0,40312	40,31151	83,1913	79
80.01...85	82,50	15	1237,5	6,71	45,08	1,45365	0,1387	0,15014	15,01363	98,2049	93
85.01...90	87,50	3	262,5	11,71	137,22	2,53616	0,0160	0,01732	1,73232	99,9373	96
90.01...95	92,50	2	185,0	16,71	279,37	3,61867	0,0006	0,00062	0,06192	99,9992	98
95.01..100	97,50	1	97,5	21,71	471,51	4,70117	0,0000	0,00001	0,00069	99,9999	99
100...105	102,50	1	102,5	26,71	713,65	5,78368	0,0000	0,00000	0,00000	99,9999	100
Сума		105	7957,5		2 240,10			1,00000	99,99986		

Середня швидкість = 75,79

КРОК= 5

V_{ср}= 75,78571

S= 4,618907

Таблиця Б.3 – Статистична обробка швидкості вільного руху автобусів на дорозі І-а категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
55.01...60	57,50	2	115,0	-20,05	401,98	-5,20254	0,0000	0,00000	0,00007	0,0001	2
60.01...65	62,50	3	187,5	-15,05	226,49	-3,90512	0,0002	0,00025	0,02526	0,0253	5
65.01...70	67,50	5	337,5	-10,05	100,99	-2,60769	0,0133	0,01727	1,72734	1,7527	10
70.01...75	72,50	20	1450,0	-5,05	25,50	-1,31027	0,1691	0,21938	21,93775	23,6904	30
75.01...80	77,50	36	2790,0	-0,05	0,00	-0,01285	0,3989	0,51755	51,75545	75,4459	65
80.01...85	82,50	26	2145,0	4,95	24,51	1,28458	0,1748	0,22681	22,68133	98,1272	91
85.01...90	87,50	6	525,0	9,95	99,01	2,58200	0,0142	0,01846	1,84641	99,9736	97
90.01...95	92,50	2	185,0	14,95	223,52	3,87943	0,0002	0,00028	0,02792	100,0015	99
95.01..100	97,50	1	97,5	19,95	398,02	5,17685	0,0000	0,00000	0,00008	100,0016	100
Сума		101	7832,5		1 500,02			1,00002	100,00161		

Середня швидкість = 77,55

КРОК= 5

Vcp= 77,5495

S= 3,853791

Таблиця Б.4 – Статистична обробка швидкості вільного руху автопотягів на дорозі I-а категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
55.01...60	57,50	1	57,5	-23,55	554,60	-5,17174	0,0000	0,00000	0,00007	0,0001	1
60.01...65	62,50	1	62,5	-18,55	344,10	-4,07370	0,0001	0,00011	0,01091	0,0110	2
65.01...70	67,50	1	67,5	-13,55	183,60	-2,97567	0,0048	0,00523	0,52333	0,5343	3
70.01...75	72,50	10	725,0	-8,55	73,10	-1,87764	0,0684	0,07516	7,51569	8,0500	13
75.01...80	77,50	30	2325,0	-3,55	12,60	-0,77960	0,2944	0,32326	32,32566	40,3757	43
80.01...85	82,50	35	2887,5	1,45	2,10	0,31843	0,3792	0,41640	41,63967	82,0153	78
85.01...90	87,50	15	1312,5	6,45	41,60	1,41646	0,1463	0,16064	16,06381	98,0791	93
90.01...95	92,50	3	277,5	11,45	131,10	2,51450	0,0169	0,01856	1,85597	99,9351	96
95.01..100	97,50	4	390,0	16,45	270,60	3,61253	0,0006	0,00064	0,06422	99,9993	100
100...105	102,50	0	0,0	21,45	460,10	4,71056	0,0000	0,00001	0,00067	100,0000	100
Сума		100	8105,0		2 073,53			1,00000	99,99999		

Середня швидкість = 81,05

КРОК= 5

V_{ср}= 81,05

S= 4,553597

Таблиця Б.5 – Статистична обробка швидкості вільного руху легкових автомобілів на дорозі І-б категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
60.01...65	62,50	1	62,5	-25,56	653,09	-4,84584	0,0000	0,00000	0,00030	0,0003	1
65.01...70	67,50	1	67,5	-20,56	422,53	-3,89774	0,0002	0,00019	0,01900	0,0193	2
70.01...75	72,50	2	145,0	-15,56	241,98	-2,94964	0,0051	0,00488	0,48809	0,5074	4
75.01...80	77,50	5	387,5	-10,56	111,42	-2,00154	0,0538	0,05103	5,10312	5,6105	9
80.01...85	82,50	20	1650,0	-5,56	30,86	-1,05344	0,2291	0,21716	21,71632	27,3268	29
85.01...90	87,50	35	3062,5	-0,56	0,31	-0,10534	0,3967	0,37614	37,61436	64,9412	65
90.01...95	92,50	21	1942,5	4,44	19,75	0,84275	0,2797	0,26518	26,51783	91,4590	86
95.01...100	97,50	10	975,0	9,44	89,20	1,79085	0,0803	0,07609	7,60920	99,0682	96
100...105	102,50	2	205,0	14,44	208,64	2,73895	0,0094	0,00889	0,88870	99,9569	98
105...110	107,50	1	107,5	19,44	378,09	3,68705	0,0004	0,00042	0,04225	99,9992	99
110...115	112,50	1	112,5	24,44	597,53	4,63515	0,0000	0,00001	0,00082	100,0000	100
Сума		99	8717,5		2 753,40			1,00000	99,99999		

Середня швидкість = 88,06

КРОК= 5

Vcp= 88,05556

S= 5,273715

Таблиця Б.6 – Статистична обробка швидкості вільного руху вантажних автомобілів на дорозі І-б категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидкостей	Середина інтервалу X_i									Теоретична часність	Практична часність
55.01...60	57,50	1	57,5	-18,26	333,37	-3,63748	0,0005	0,00053	0,05322	0,0532	1
60.01...65	62,50	1	62,5	-13,26	175,79	-2,64137	0,0122	0,01214	1,21399	1,2672	2
65.01...70	67,50	10	675,0	-8,26	68,20	-1,64526	0,1031	0,10267	10,26656	11,5338	13
70.01...75	72,50	35	2537,5	-3,26	10,62	-0,64915	0,3232	0,32189	32,18937	43,7231	53
75.01...80	77,50	25	1937,5	1,74	3,03	0,34696	0,3756	0,37418	37,41771	81,1409	81
80.01...85	82,50	10	825,0	6,74	45,45	1,34307	0,1619	0,16126	16,12572	97,2666	92
85.01...90	87,50	3	262,5	11,74	137,86	2,33918	0,0259	0,02577	2,57655	99,8431	96
90.01...95	92,50	2	185,0	16,74	280,28	3,33529	0,0015	0,00153	0,15263	99,9958	98
95.01..100	97,50	1	97,5	21,74	472,70	4,33140	0,0000	0,00003	0,00335	99,9991	99
100...105	102,50	1	102,5	26,74	715,11	5,32751	0,0000	0,00000	0,00003	99,9991	100
Сума		89	6742,5		2 242,41			0,99999	99,99913		

Середня швидкість = 75,76

КРОК= 5

V_{ср}= 75,75843

S= 5,019523

Таблиця Б.7 – Статистична обробка швидкості вільного руху автобусів на дорозі І-б категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$\left(X_i - \bar{X}\right)^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
50...55	52,50	0	0,0	-22,07	487,12	-4,83329	0,0000	0,0000037	0,00037	0,0004	0
55.01...60	57,50	1	57,5	-17,07	291,41	-3,73833	0,0004	0,00040	0,04033	0,0407	1
60.01...65	62,50	4	250,0	-12,07	145,70	-2,64338	0,0121	0,01327	1,32740	1,3681	5
65.01...70	67,50	13	877,5	-7,07	49,99	-1,54842	0,1203	0,13173	13,17261	14,5407	18
70.01...75	72,50	35	2537,5	-2,07	4,29	-0,45347	0,3600	0,39414	39,41435	53,9551	54
75.01...80	77,50	34	2635,0	2,93	8,58	0,64149	0,3248	0,35559	35,55894	89,5140	88
80.01...85	82,50	8	660,0	7,93	62,87	1,73645	0,0883	0,09673	9,67286	99,1869	96
85.01...90	87,50	2	175,0	12,93	167,17	2,83140	0,0072	0,00793	0,79337	99,9802	98
90.01...95	92,50	1	92,5	17,93	321,46	3,92636	0,0002	0,00020	0,01962	99,9998	99
95.01...100	97,50	1	97,5	22,93	525,75	5,02131	0,0000	0,00000	0,00015	100,0000	100
Сума		99	7382,5		2 064,34			1,00000	99,99999		

Середня швидкість = 74,57

КРОК= 5

Vcp= 74,57071

S= 4,566393

Таблиця Б.8 – Статистична обробка швидкості вільного руху автопотягів на дорозі І-б категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$\ $ $X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
55.01...60	57,50	1	57,5	-22,44	503,70	-4,63581	0,0000	0,00001	0,00089	0,0009	1
60.01...65	62,50	2	125,0	-17,44	304,26	-3,60302	0,0006	0,00063	0,06251	0,0634	3
65.01...70	67,50	3	202,5	-12,44	154,83	-2,57023	0,0147	0,01515	1,51505	1,5784	7
70.01...75	72,50	7	507,5	-7,44	55,40	-1,53744	0,1224	0,12637	12,63694	14,2154	15
75.01...80	77,50	30	2325,0	-2,44	5,97	-0,50466	0,3512	0,36276	36,27590	50,4913	49
80.01...85	82,50	30	2475,0	2,56	6,54	0,52813	0,3470	0,35839	35,83885	86,3301	83
85.01...90	87,50	12	1050,0	7,56	57,11	1,56092	0,1180	0,12186	12,18568	98,5158	97
90.01...95	92,50	1	92,5	12,56	157,67	2,59370	0,0138	0,01426	1,42595	99,9418	98
95.01..100	97,50	1	97,5	17,56	308,24	3,62649	0,0006	0,00057	0,05743	99,9992	99
100...105	102,50	1	102,5	22,56	508,81	4,65928	0,0000	0,00001	0,00080	100,0000	100
Сума		88	7035,0		2 062,53			1,00000	99,99999		

Середня швидкість = 79,94

КРОК= 5

Vcp= 79,94318

S= 4,841267

Таблиця Б.9 – Статистична обробка швидкості вільного руху легкових автомобілів на дорозі II категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
60.01...65	62,50	1	62,5	-21,83	476,41	-4,16168	0,0001	0,00007	0,00660	0,0066	1
65.01...70	67,50	1	67,5	-16,83	283,15	-3,20835	0,0023	0,00221	0,22129	0,2279	2
70.01...75	72,50	3	217,5	-11,83	139,88	-2,25501	0,0314	0,02992	2,99191	3,2198	5
75.01...80	77,50	16	1240,0	-6,83	46,61	-1,30167	0,1710	0,16302	16,30171	19,5215	20
80.01...85	82,50	40	3300,0	-1,83	3,34	-0,34833	0,3755	0,35794	35,79386	55,3154	59
85.01...90	87,50	30	2625,0	3,17	10,07	0,60500	0,3322	0,31672	31,67194	86,9873	88
90.01...95	92,50	8	740,0	8,17	66,80	1,55834	0,1185	0,11294	11,29357	98,2809	95
95.01..100	97,50	2	195,0	13,17	173,53	2,51168	0,0170	0,01623	1,62285	99,9037	97
100...105	102,50	1	102,5	18,17	330,26	3,46501	0,0010	0,00094	0,09398	99,9977	98
105...110	107,50	1	107,5	23,17	536,99	4,41835	0,0000	0,00002	0,00219	99,9999	99
110...115	112,50	1	112,5	28,17	793,72	5,37169	0,0000	0,00000	0,00002	99,9999	100
Сума		104	8770,0		2 860,75			1,00000	99,99992		

Середня швидкість = 84,33

КРОК= 5

V_{ср}= 84,32692

S= 5,244734

Таблиця Б.10 – Статистична обробка швидкості вільного руху вантажних автомобілів на дорозі II категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
50...55	52,50	1	52,5	-19,43	377,68	-3,59898	0,0006	0,0005687	0,05687	0,0569	1
55.01...60	57,50	4	230,0	-14,43	208,34	-2,67303	0,0112	0,01037	1,03744	1,0943	5
60.01...65	62,50	11	687,5	-9,43	89,00	-1,74708	0,0867	0,08030	8,02978	9,1241	15
65.01...70	67,50	25	1687,5	-4,43	19,66	-0,82113	0,2848	0,26369	26,36859	35,4927	39
70.01...75	72,50	35	2537,5	0,57	0,32	0,10482	0,3968	0,36738	36,73773	72,2304	72
75.01...80	77,50	20	1550,0	5,57	30,98	1,03078	0,2345	0,21716	21,71598	93,9464	91
80.01...85	82,50	5	412,5	10,57	111,64	1,95673	0,0588	0,05446	5,44614	99,3925	95
85.01...90	87,50	2	175,0	15,57	242,30	2,88268	0,0063	0,00579	0,57948	99,9720	97
90.01...95	92,50	1	92,5	20,57	422,96	3,80863	0,0003	0,00026	0,02616	99,9982	98
95.01...100	97,50	1	97,5	25,57	653,62	4,73458	0,0000	0,00001	0,00050	99,9987	99
100...105	102,50	1	102,5	30,57	934,28	5,66053	0,0000	0,00000	0,00000	99,9987	100
Сума		106	7625,0		3 090,79			0,99999	99,99866		

Середня швидкість = 71,93

КРОК= 5

Vcp= 71,93396

S= 5,39985

Таблиця Б.11 – Статистична обробка швидкості вільного руху автобусів на дорозі II категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митевих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
50...55	52,50	1	52,5	-19,04	362,54	-4,87811	0,0000	0,0000035	0,00035	0,0003	1
55.01...60	57,50	2	115,0	-14,04	197,13	-3,59712	0,0006	0,00079	0,07920	0,0795	3
60.01...65	62,50	5	312,5	-9,04	81,73	-2,31613	0,0273	0,03496	3,49604	3,5756	8
65.01...70	67,50	30	2025,0	-4,04	16,32	-1,03514	0,2335	0,29907	29,90734	33,4829	38
70.01...75	72,50	40	2900,0	0,96	0,92	0,24585	0,3871	0,49583	49,58281	83,0657	79
75.01...80	77,50	15	1162,5	5,96	35,52	1,52684	0,1244	0,15931	15,93074	98,9965	94
80.01...85	82,50	3	247,5	10,96	120,11	2,80783	0,0077	0,00992	0,99196	99,9884	97
85.01...90	87,50	2	175,0	15,96	254,71	4,08881	0,0001	0,00012	0,01197	100,0004	99
90.01...95	92,50	1	92,5	20,96	439,30	5,36980	0,0000	0,00000	0,00003	100,0004	100
Сума		99	7082,5		1 508,29			1,00000	100,00043		

Середня швидкість = 71,54

КРОК= 5

 V_{cp} = 71,5404

S= 3,903233

Таблиця Б.12 – Статистична обробка швидкості вільного руху автопоп'ягів на дорозі II категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
50...55	52,50	1	52,5	-20,42	417,05	-4,80124	0,0000	0,0000046	0,00046	0,0005	1
55.01...60	57,50	2	115,0	-15,42	237,83	-3,62572	0,0006	0,00066	0,06555	0,0660	4
60.01...65	62,50	4	250,0	-10,42	108,61	-2,45019	0,0198	0,02331	2,33084	2,3969	8
65.01...70	67,50	15	1012,5	-5,42	29,39	-1,27467	0,1770	0,20813	20,81263	23,2095	27
70.01...75	72,50	30	2175,0	-0,42	0,18	-0,09914	0,3970	0,46667	46,66676	69,8762	63
75.01...80	77,50	25	1937,5	4,58	20,96	1,07638	0,2235	0,26276	26,27571	96,1520	93
80.01...85	82,50	4	330,0	9,58	91,74	2,25191	0,0316	0,03715	3,71507	99,8670	98
85.01...90	87,50	1	87,5	14,58	212,53	3,42743	0,0011	0,00132	0,13190	99,9989	99
90.01...95	92,50	1	92,5	19,58	383,31	4,60296	0,0000	0,00001	0,00118	100,0001	100
Сума		83	6052,5		1 501,60			1,00000	100,00010		

Середня швидкість = 72,92

КРОК= 5

V_{ср}= 72,92169

S= 4,253419

Таблиця Б.13 – Статистична обробка швидкості вільного руху легкових автомобілів на дорозі III категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
50...55	52,50	1	52,5	-27,18	739,00	-5,21155	0,0000	0,0000005	0,00005	0,0000	1
55.01...60	57,50	1	57,5	-22,18	492,15	-4,25300	0,0000	0,00005	0,00452	0,0046	2
60.01...65	62,50	2	125,0	-17,18	295,31	-3,29445	0,0018	0,00168	0,16817	0,1727	4
65.01...70	67,50	2	135,0	-12,18	148,46	-2,33589	0,0261	0,02499	2,49853	2,6713	6
70.01...75	72,50	12	870,0	-7,18	51,62	-1,37734	0,1545	0,14811	14,81100	17,4823	17
75.01...80	77,50	35	2712,5	-2,18	4,77	-0,41879	0,3654	0,35030	35,03023	52,5125	51
80.01...85	82,50	35	2887,5	2,82	7,93	0,53977	0,3449	0,33057	33,05680	85,5693	85
85.01...90	87,50	8	700,0	7,82	61,08	1,49832	0,1298	0,12446	12,44623	98,0155	93
90.01...95	92,50	4	370,0	12,82	164,24	2,45688	0,0195	0,01870	1,86971	99,8852	97
95.01..100	97,50	2	195,0	17,82	317,39	3,41543	0,0012	0,00112	0,11206	99,9973	99
100...105	102,50	1	102,5	22,82	520,55	4,37398	0,0000	0,00003	0,00268	100,0000	100
Сума		103	8207,5		2 802,49			1,00000	99,99997		

Середня швидкість = 79,68

КРОК= 5
 V_{cp} = 79,68447
 S = 5,216191

Таблиця Б.14 – Статистична обробка швидкості вільного руху вантажних автомобілів на дорозі III категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$\left(X_i - \bar{X}\right)^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
50...55	52,50	1	52,5	-14,55	211,83	-4,37182	0,0000	0,0000424	0,00424	0,0042	1
55.01...60	57,50	2	115,0	-9,55	91,29	-2,86994	0,0065	0,00975	0,97501	0,9792	3
60.01...65	62,50	30	1875,0	-4,55	20,74	-1,36805	0,1565	0,23504	23,50395	24,4832	33
65.01...70	67,50	50	3375,0	0,45	0,20	0,13383	0,3954	0,59382	59,38229	83,8655	82
70.01...75	72,50	12	870,0	5,45	29,65	1,63571	0,1047	0,15724	15,72373	99,5892	94
75.01...80	77,50	3	232,5	10,45	109,11	3,13760	0,0029	0,00436	0,43635	100,0256	97
80.01...85	82,50	2	165,0	15,45	238,56	4,63948	0,0000	0,00001	0,00127	100,0268	99
85.01...90	87,50	1	87,5	20,45	418,02	6,14136	0,0000	0,00000	0,00000	100,0268	100
Сума		101	6772,5		1 119,41			1,00027	100,02682		

Середня швидкість = 67,05

КРОК= 5

V_{ср}= 67,05446

S= 3,329154

Таблиця Б.15 – Статистична обробка швидкості вільного руху автобусів на дорозі III категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
50...55	52,50	1	52,5	-16,76	281,06	-3,46232	0,0010	0,0010275	0,10275	0,1027	1
55.01...60	57,50	6	345,0	-11,76	138,41	-2,42970	0,0208	0,02152	2,15248	2,2552	7
60.01...65	62,50	13	812,5	-6,76	45,76	-1,39707	0,1503	0,15525	15,52455	17,7798	20
65.01...70	67,50	35	2362,5	-1,76	3,11	-0,36445	0,3733	0,38549	38,54853	56,3283	54
70.01...75	72,50	37	2682,5	3,24	10,47	0,66817	0,3191	0,32954	32,95386	89,2822	90
75.01...80	77,50	6	465,0	8,24	67,82	1,70079	0,0939	0,09699	9,69872	98,9809	96
80.01...85	82,50	2	165,0	13,24	175,17	2,73341	0,0095	0,00983	0,98273	99,9636	98
85.01...90	87,50	1	87,5	18,24	332,53	3,76603	0,0003	0,00034	0,03428	99,9979	99
90.01...95	92,50	1	92,5	23,24	539,88	4,79865	0,0000	0,00000	0,00041	99,9983	100
95.01..100	97,50	0	0,0	28,24	797,23	5,83127	0,0000	0,00000	0,00000	99,9983	100
Сума		102	7065,0		2 391,44			0,99998	99,99830		

Середня швидкість = 69,26

КРОК= 5

 V_{cp} = 69,26471

S= 4,84205

Таблиця Б.16 – Статистична обробка швидкості вільного руху автопотягів на дорозі III категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
50...55	52,50	1	52,5	-18,62	346,80	-4,73310	0,0000	0,0000069	0,00069	0,0007	1
55.01...60	57,50	1	57,5	-13,62	185,57	-3,46230	0,0010	0,00126	0,12646	0,1271	2
60.01...65	62,50	6	375,0	-8,62	74,35	-2,19149	0,0361	0,04593	4,59315	4,7203	8
65.01...70	67,50	30	2025,0	-3,62	13,12	-0,92069	0,2611	0,33183	33,18346	37,9038	39
70.01...75	72,50	45	3262,5	1,38	1,90	0,35012	0,3752	0,47684	47,68374	85,5875	85
75.01...80	77,50	11	852,5	6,38	40,67	1,62092	0,1072	0,13629	13,62878	99,2163	96
80.01...85	82,50	2	165,0	11,38	129,45	2,89173	0,0061	0,00775	0,77479	99,9911	98
85.01...90	87,50	1	87,5	16,38	268,22	4,16254	0,0001	0,00009	0,00876	99,9998	99
90.01...95	92,50	1	92,5	21,38	457,00	5,43334	0,0000	0,00000	0,00002	99,9998	100
Сума		98	6970,0		1 517,08			1,00000	99,99984		

Середня швидкість = 71,12

КРОК= 5
 V_{cp} = 71,12245
 S = 3,934513

Таблиця Б.17 – Статистична обробка швидкості вільного руху легкових автомобілів на дорозі IV категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$\left(X_i - \bar{X}\right)^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митевих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
50...55	52,50	1	52,5	-23,32	543,74	-4,63748	0,0000	0,0000085	0,00085	0,0008	1
55.01...60	57,50	3	172,5	-18,32	335,56	-3,64309	0,0005	0,00052	0,05206	0,0529	4
60.01...65	62,50	2	125,0	-13,32	177,37	-2,64869	0,0120	0,01189	1,18865	1,2415	5
65.01...70	67,50	9	607,5	-8,32	69,19	-1,65430	0,1015	0,10097	10,09707	11,3386	14
70.01...75	72,50	30	2175,0	-3,32	11,01	-0,65991	0,3209	0,31908	31,90821	43,2468	41
75.01...80	77,50	45	3487,5	1,68	2,83	0,33448	0,3772	0,37512	37,51231	80,7591	82
80.01...85	82,50	13	1072,5	6,68	44,65	1,32887	0,1650	0,16406	16,40625	97,1654	94
85.01...90	87,50	3	262,5	11,68	136,46	2,32326	0,0268	0,02669	2,66937	99,8348	96
90.01...95	92,50	2	185,0	16,68	278,28	3,31765	0,0016	0,00162	0,16157	99,9963	98
95.01...100	97,50	1	97,5	21,68	470,10	4,31204	0,0000	0,00004	0,00364	100,0000	99
100...105	102,50	1	102,5	26,68	711,92	5,30643	0,0000	0,00000	0,00003	100,0000	100
Сума		110	8340,0		2 781,11			1,00000	99,99999		

Середня швидкість = 75,82

КРОК= 5

V_{ср}= 75,81818

S= 5,028206

Таблиця Б.18 – Статистична обробка швидкості вільного руху вантажних автомобілів на дорозі IV категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$\left(X_i - \bar{X}\right)^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
50...55	52,50	6	315,0	-11,56	133,69	-2,83361	0,0072	0,0088231	0,88231	0,8823	8
55.01...60	57,50	8	460,0	-6,56	43,07	-1,60826	0,1095	0,13413	13,41264	14,2950	18
60.01...65	62,50	35	2187,5	-1,56	2,44	-0,38292	0,3707	0,45428	45,42847	59,7234	61
65.01...70	67,50	23	1552,5	3,44	11,82	0,84242	0,2798	0,34282	34,28178	94,0052	90
70.01...75	72,50	5	362,5	8,44	71,19	2,06777	0,0470	0,05764	5,76395	99,7691	96
75.01...80	77,50	1	77,5	13,44	180,57	3,29311	0,0018	0,00216	0,21592	99,9851	98
80.01...85	82,50	1	82,5	18,44	339,94	4,51845	0,0000	0,00002	0,00180	99,9869	99
85.01...90	87,50	1	87,5	23,44	549,32	5,74380	0,0000	0,00000	0,00000	99,9869	100
Сума		80	5125,0		1 332,03			0,99987	99,98688		

Середня швидкість = 64,06

КРОК= 5
 V_{cp} = 64,0625
 S = 4,080489

Таблиця Б.19 – Статистична обробка швидкості вільного руху автобусів на дорозі IV категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
50...55	52,50	1	52,5	-14,59	212,82	-4,02277	0,0001	0,0001684	0,01684	0,0168	1
55.01...60	57,50	2	115,0	-9,59	91,93	-2,64400	0,0121	0,01669	1,66874	1,6856	4
60.01...65	62,50	20	1250,0	-4,59	21,05	-1,26523	0,1792	0,24706	24,70552	26,3911	27
65.01...70	67,50	45	3037,5	0,41	0,17	0,11355	0,3964	0,54652	54,65157	81,0427	80
70.01...75	72,50	15	1087,5	5,41	29,29	1,49232	0,1310	0,18064	18,06397	99,1066	98
75.01...80	77,50	1	77,5	10,41	108,40	2,87109	0,0065	0,00892	0,89212	99,9988	99
80.01...85	82,50	1	82,5	15,41	237,52	4,24986	0,0000	0,00007	0,00658	100,005	100
85.01...90	87,50	0	0,0	20,41	416,64	5,62863	0,0000	0,00000	0,00001	100,005	100
Сума		85	5702,5		1 117,83			1,00005	100,00535		

Середня швидкість = 67,09

КРОК= 5

V_{ср}= 67,08824

S= 3,626418

Таблиця Б.20 – Статистична обробка швидкості вільного руху автопотягів на дорозі IV категорії

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
50...55	52,50	1	52,5	-16,14	260,38	-5,68476	0,0000	0,0000001	0,00001	0,0000	1
55.01...60	57,50	2	115,0	-11,14	124,02	-3,92328	0,0002	0,00032	0,03195	0,0320	3
60.01...65	62,50	8	500,0	-6,14	37,65	-2,16181	0,0386	0,06792	6,79151	6,8235	13
65.01...70	67,50	45	3037,5	-1,14	1,29	-0,40033	0,3682	0,64861	64,86113	71,6846	64
70.01...75	72,50	30	2175,0	3,86	14,93	1,36114	0,1580	0,27828	27,82773	99,5123	98
75.01...80	77,50	1	77,5	8,86	78,56	3,12261	0,0030	0,00536	0,53635	100,0487	99
80.01...85	82,50	1	82,5	13,86	192,20	4,88409	0,0000	0,00000	0,00046	100,0491	100
Сума		88	6040,0		709,04			1,00049	100,04914		

Середня швидкість = 68,64

КРОК= 5

V_{ср}= 68,63636

S= 2,838532

Таблиця Б.21 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для легкових автомобілів 1-а категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2/m'_i$
55-60	0	15	0	11,08	3,92	1,38
60-65	0		0			
65-70	1		0,06			
70-75	2		1,29			
75-80	12		9,73			
80-85						
85-90	30		29,8		0,2	0
90-95	35		36,8		1,8	0,09
95-100	18	25	18,3	22,3	2,7	0.32
100-105	4		3,7			
105-110	2		0,3			
110-115	1		0,09			
	105					1,79

Таблиця Б.22 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для вантажних автомобілів 1-а категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
55-60	1	14	0,01	9,34	4,66	2,3
60-65	4		0,7			
65-70	9		8,64			
70-75	30		33,5		3,5	0,4
75-80	37		40,3		3,3	0,27
80-85	15	22	15	16,8	5,2	1,6
85-90	3		1,73			
90-95	2		0,06			
95-100	1		0			
100-105	1		0			
	93					4,8

Таблиця Б.23 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для автобусів 1-а категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
55-60	2	30	0	23,6	6,4	1,7
60-65	3		0.03			
65-70	5		17			
70-75	20		219			
75-80	36		517		15,7	1,7
80-85	26	35	227	24,5	10,5	4,5
85-90	6		1.8			
90-95	2		0.02			
95-100	1		0			
	101					7,9

Таблиця Б.24 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для автопотягів 1-а категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
55-60	1	13	0	8,03	4,97	3,07
60-65	1		0,01			
65-70	1		0,52			
70-75	10		7.5			
75-80	30		32,3		2,3	0,16
80-85	35		416		5,4	0,7
85-90	15	22	16,1	18,01	3,98	0,87
90-95	3		1,86			
95-100	4		0,06			
100-105	0		0			
	100					4,8

Таблиця Б.25 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для легкових автомобілів 1-б категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
60-65	1	9	0	5,62	3,4	2,0
65-70	1		0,02			
70-75	2		0,5			
75-80	5		5,1			
80-85	20		24,7		4,7	0,8
85-90	35		37,6		2,6	0,2
90-95	21		26,5		5,5	1,14
95-100	10	14	7,6	8,5	5,5	3,5
100-105	2		0,9			
105-110	1		0,04			
110-115	1		0			
	99					7,64

Таблиця Б.26 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для вантажних автомобілів 1-б категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
55-60	1	12	0,06	11,56	0,44	0,016
60-65	1		1,2			
65-70	10		10,3			
70-75	35		32,2		2,8	0,24
75-80	25		37,4		7,6	1,5
80-85	10	17	16,1	18,8	1,8	0,17
85-90	3		2,57			
90-95	2		0,15			
95-100	1		0,003			
100-105	1		0			
	89					1,92

Таблиця Б.27 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для автобусів 1-б категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
55-60	0	18	0	14,6	3,4	0,79
60-65	1		0,04			
65-70	4		1,33			
70-75	13		13,2			
75-80	35		39,4		4,4	0,49
80-85	34		35,6		1,6	0,07
85-90	8	12	9,7	10,5	1,5	0,2
90-95	2		0,8			
95-100	1		0,02			
100-105	1		0			
	109					1,55

Таблиця Б.28 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для автопотягів 1-б категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
60-65	1	13	0	14,16	1,16	0,09
65-70	2		0,06			
70-75	3		1,5			
75-80	7		12,6			
80-85	30		36,3		6,3	1,09
85-90	30		35,8		5,8	0,9
90-95	12	15	12,2	13,6	1,34	0,13
95-100	1		1,4			
100-105	1		0,06			
105-110	1		0			
	88					2,21

Таблиця Б.29 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для легкових автомобілів II категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
60-65	1	21	0	19,5	1,5	0,1
65-70	1		8,2			
70-75	3		3,0			
75-80	16		16,3			
80-85	40		35,8		4,2	0,5
85-90	30		31,7		1,7	0,09
90-95	8	13	11,3	13,01	0,1	0
95-100	2		1,62			
100-105	1		0,09			
105-110	1		0,002			
110-115	1		0			
	104					0,69

Таблиця Б.30 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для вантажних автомобілів II категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
55-60	1	12	0,06	11,56	0,44	0,016
60-65	1		1,2			
65-70	10		10,3			
70-75	35		32,2		2,8	0,24
75-80	25		37,4		12,4	4,1
80-85	10	17	16,1	18,8	3,24	0,17
85-90	3		2,57			
90-95	2		0,15			
95-100	1		0,003			
100-105	1		0			
	80					4,52

Таблиця Б.31 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для автобусів II категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
50-55	0	18	0	14,6	3,4	0,79
55-60	1		0,04			
60-65	4		1,33			
65-70	13		13,2			
70-75	35		39,4		4,4	0,49
75-80	34		35,6		1,6	0,07
80-85	8	12	9,7	10,5	1,5	0,2
85-90	2		0,8			
90-95	1		0,02			
95-100	1		0			
	99					1,55

Таблиця Б.32 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для автопотягів II категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
55-60	1	13	0	14,16	1,16	0,09
60-65	2		0,06			
65-70	3		1,5			
70-75	7		12,6			
75-80						
80-85	30		36,3		6,3	1,09
85-90	30		35,8		5,8	0,9
90-95	12	15	12,2	13,66	1,34	0,13
95-100	1		14			
100-105	1		0,06			
105-110	1		0			
	88					2,21

Таблиця Б.33 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для легкових автомобілів III категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
50-55	1	18	0	17,5	0,5	0,01
55-60	1		0,004			
60-65	2		0,2			
65-70	2		2,5			
70-75	12		14,8			
75-80	35		35		0	0
80-85	35		33		2	0,12
85-90	8	15	12,4	14,4	0,6	0,02
90-95	4		1,9			
95-100	2		0,11			
100-105	1		0			
	103					0,15

Таблиця Б.34 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для вантажних автомобілів III категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
50-55	1	33	0,004	24,5	8,5	2,9
55-60	2		0,97			
60-65	30		23,5			
65-70	50		59,4		9,4	1,48
70-75	12	18	15,7	16,1	1,9	0,2
75-80	3		0,4			
80-85	2		0,001			
85-90	1		0			
	101					4,58

Таблиця Б.35 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для автобусів III категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
50-55	1	20	0,1	17,75	2,25	0,3
55-60	6		2,15			
60-65	13		15,5			
65-70	35		38,5		3,5	0,3
70-75	37		32,96		4,04	0,5
75-80	6	10	9,7	10,73	0,73	0,05
80-85	2		1,0			
85-90	1		0,03			
90-95	1		0			
95-100	0		0			
	102					1,15

Таблиця Б.36 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для автопотягів III категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
50-55	1	11	0	6,83	4,17	2,54
55-60	2		0,03			
60-65	8		6,8			
65-70	45		64,8		19,8	6,05
70-75	30	32	27,8	28,3	3,7	0,48
75-80	1		0,5			
80-85	1		0			
	88					9,07

Таблиця Б.37 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для легкових автомобілів IV категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
50-55	1	18	0	17,5	0,5	0,01
55-60	1		0,004			
60-65	2		0,2			
65-70	2		2,5			
70-75	12		14,8			
75-80	35		35		0	0
80-85	35		33		2	0,11
85-90	8	15	12,4	14,4	0,6	0,02
90-95	4		1,9			
95-100	2		0,11			
100-105	1		0,002			
	103					0,13

Таблиця Б.38 – розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для вантажних автомобілів IV категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
50-55	1	33	0,004	24,5	8,5	2,9
55-60	2		0,97			
60-65	30		23,5			
65-70	50		59,4		9,4	1,48
70-75	12	18	15,7	16,1	1,9	0,2
75-80	3		0,4			
80-85	2		0,001			
85-90	1		0			
	101					4,58

Таблиця Б.39 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для автобусів IV категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
50-55	1	20	0,1	17,75	2,25	0,3
55-60	6		2,5			
60-65	13		15,5			
65-70	35		38,5		3,5	0,3
70-75	37		32,96		4,04	0,5
75-80	6	10	9,7	10,73	0,73	0,05
80-85	2		1,0			
85-90	1		0,03			
90-95	1		0			
95-100	0		0			
	102					1,15

Таблиця Б.40 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для автопотягів IV категорія дороги

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2 / m'_i$
50-55	1	38	0	37,9	0,1	0
55-60	1		0,13			
60-65	6		4,6			
65-70	30		33,2			
70-75	45		47,7		2,7	0,15
75-80	11	15	13,6	14,4	0,6	0,02
80-85	2		0,8			
85-90	1		0			
90-95	1		0			
	98					0,17

ДОДАТОК В

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕРЕДНЬОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ ТА ЇХ СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА

Таблиця В.1 – Статистична обробка середньої швидкості руху легкових автомобілів на ділянці автомобільної дороги з поздовжнім похилом 8‰

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$\left(X_i - \bar{X}\right)^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
70.01...75	72,50	0	0,0	-18,30	334,89	-5,63378	0,0000	0,00000	0,00001	0,0000	0
75.01...80	77,50	1	77,5	-13,30	176,89	-4,09450	0,0001	0,00014	0,01405	0,0141	1
80.01...85	82,50	2	165,0	-8,30	68,89	-2,55521	0,0152	0,02347	2,34666	2,3607	3
85.01...90	87,50	35	3062,5	-3,30	10,89	-1,01593	0,2381	0,36653	36,65298	39,0137	38
90.01...95	92,50	54	4995,0	1,70	2,89	0,52336	0,3479	0,53549	53,54907	92,5628	92
95.01..100	97,50	8	780,0	6,70	44,89	2,06264	0,0475	0,07318	7,31775	99,8805	100
100...105	102,50	0	0,0	11,70	136,89	3,60193	0,0006	0,00094	0,09354	99,9741	100
105...110	107,50	0	0,0	16,70	278,89	5,14121	0,0000	0,00000	0,00011	99,9742	100
Сума		100	9080,0		1 055,12			0,99974	99,97418		

Середня швидкість = 90,80

КРОК= 5
V_{ср}= 90,8
S= 3,248261

Таблиця В.2 – Статистична обробка середньої швидкості руху легкових автомобілів на ділянці автомобільної дороги з поздовжнім похилом 30‰

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$\left(X_i - \bar{X}\right)^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
65.01...70	67,50	0	0,0	-13,10	171,61	-3,77398	0,0003	0,00046	0,04641	0,0464	0
70.01...75	72,50	4	290,0	-8,10	65,61	-2,33353	0,0262	0,03775	3,77541	3,8218	4
80.01...85	82,50	49	4042,5	1,90	3,61	0,54737	0,3434	0,49471	49,47065	91,8593	92
85.01...90	87,50	7	612,5	6,90	47,61	1,98782	0,0553	0,07968	7,96830	99,8276	99
90.01...95	92,50	1	92,5	11,90	141,61	3,42827	0,0011	0,00161	0,16116	99,9888	100
95.01..100	97,50	0	0,0	16,90	285,61	4,86872	0,0000	0,00000	0,00041	99,9892	100
100...105	102,50	0	0,0	21,90	479,61	6,30917	0,0000	0,00000	0,00000	99,9892	100
Сума		100	8060,0		1 204,88			0,99989	99,98916		

Середня швидкість = 80,60

КРОК= 5
 V_{cp} = 80,6
 S = 3,471138

Таблиця В.3 – Статистична обробка середньої швидкості руху легкових автомобілів на ділянці автомобільної дороги з поздовжнім похилом 20‰

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
70.01...75	72,5	0	0,0	-16,93	286,51	-5,44685	0,0000	0,00000	0,00002	0,0000	0
75.01...80	77,50	4	310,0	-11,93	142,24	-3,83789	0,0003	0,00041	0,04065	0,0407	4
80.01...85	82,50	8	660,0	-6,93	47,98	-2,22893	0,0333	0,05354	5,35357	5,3942	11
85.01...90	87,50	50	4375,0	-1,93	3,71	-0,61997	0,3292	0,52965	52,96550	58,3597	57
90.01...95	92,50	40	3700,0	3,07	9,45	0,98899	0,2446	0,39361	39,36060	97,7203	94
95.01..100	97,50	4	390,0	8,07	65,18	2,59795	0,0137	0,02197	2,19710	99,9174	97
100...105	102,50	2	205,0	13,07	170,91	4,20691	0,0001	0,00009	0,00921	99,9266	99
105...110	107,50	1	107,5	18,07	326,65	5,81587	0,0000	0,00000	0,00000	99,9266	100
Сума		109	9747,5		1 052,63			0,99927	99,92664		

Середня швидкість = 89,43

КРОК= 5
 V_{cp} = 89,42661
 S = 3,107597

Таблиця В.4 – Статистична обробка середньої швидкості руху легкових автомобілів на ділянці автомобільної дороги з поздовжнім похилом 10‰

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
60.01...65	62,5	3	187,5	-13,37	178,63	-3,95655	0,0002	0,00024	0,02355	0,0235	3
65.01...70	67,50	5	337,5	-8,37	69,98	-2,47640	0,0186	0,02751	2,75135	2,7749	8
70.01...75	72,50	30	2175,0	-3,37	11,33	-0,99625	0,2429	0,35949	35,94943	38,7243	37
75.01...80	77,50	54	4185,0	1,63	2,67	0,48389	0,3549	0,52525	52,52540	91,2497	88
80.01...85	82,50	10	825,0	6,63	44,02	1,96404	0,0580	0,08582	8,58179	99,8315	98
85.01...90	87,50	1	87,5	11,63	135,36	3,44419	0,0011	0,00157	0,15679	99,9883	99
90.01...95	92,50	1	92,5	16,63	276,71	4,92434	0,0000	0,00000	0,00032	99,9886	100
95.01...100	97,50	0	0,0	21,63	468,06	6,40449	0,0000	0,00000	0,00000	99,9886	100
Сума		104	7890,0		1 186,76			0,99989	99,98862		

Середня швидкість = 75,87

КРОК= 5

V_{cp} = 75,86538

S = 3,37804

Таблиця В.5 – Статистична обробка середньої швидкості руху легкових автомобілів на ділянці автомобільної дороги з позовжнім похилом 20‰

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митевих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
55.01...60	57,50	0	0,0	-17,70	313,43	-4,45532	0,0000	0,00002	0,00246	0,0025	0
60.01...65	62,50	2	125,0	-12,70	161,39	-3,19705	0,0024	0,00303	0,30283	0,3053	2
65.01...70	67,50	6	405,0	-7,70	59,35	-1,93877	0,0609	0,07664	7,66416	7,9694	8
70.01...75	72,50	38	2755,0	-2,70	7,31	-0,68050	0,3165	0,39823	39,82268	47,7921	47
75.01...80	77,50	42	3255,0	2,30	5,27	0,57778	0,3376	0,42481	42,48111	90,2732	90
80.01...85	82,50	9	742,5	7,30	53,23	1,83606	0,0739	0,09304	9,30380	99,5770	99
85.01...90	87,50	1	87,5	12,30	151,19	3,09433	0,0033	0,00418	0,41834	99,9954	100
90.01...95	92,50	0	0,0	17,30	299,15	4,35261	0,0000	0,00004	0,00386	99,9992	100
95.01..100	97,50	0	0,0	22,30	497,11	5,61088	0,0000	0,00000	0,00001	99,9993	100
Сума		98	7370,0		1 547,44			0,99999	99,99925		

Середня швидкість = 75,20

КРОК= 5

V_{cp} = 75,20408

S = 3,97369

Таблиця В.6 – Статистична обробка середньої швидкості руху легкових автомобілів на ділянці автомобільної дороги з позовжнім похилом 30‰

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
50...55	52,50	1	52,5	-12,34	152,37	-3,40356	0,0012	0,0016784	0,16784	0,1678	1
55.01...60	57,50	8	460,0	-7,34	53,93	-2,02490	0,0514	0,07080	7,07966	7,2475	9
60.01...65	62,50	40	2500,0	-2,34	5,49	-0,64625	0,3238	0,44635	44,63530	51,8828	51
65.01...70	67,50	40	2700,0	2,66	7,06	0,73241	0,3051	0,42061	42,06131	93,9441	93
70.01...75	72,50	6	435,0	7,66	58,62	2,11107	0,0430	0,05924	5,92414	99,8682	99
75.01...80	77,50	1	77,5	12,66	160,18	3,48973	0,0009	0,00125	0,12471	99,9930	100
80.01...85	82,50	0	0,0	17,66	311,74	4,86838	0,0000	0,00000	0,00039	99,9933	100
85.01...90	87,50	0	0,0	22,66	513,31	6,24704	0,0000	0,00000	0,00000	99,9933	100
Сума		96	6225,0		1 262,70			0,99993	99,99335		

Середня швидкість = 64,84

КРОК= 5
 V_{cp} = 64,84375
 S = 3,626717

Таблиця В.7 – Статистична обробка середньої швидкості руху легкових автомобілів на ділянці автомобільної дороги з поздовжнім похилом 50‰

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
35...40	37,50	1	37,5	-17,56	308,24	-4,17831	0,0001	0,0000768	0,00768	0,0077	1
40.01...45	42,50	2	85,0	-12,56	157,67	-2,98837	0,0046	0,00546	0,54605	0,5537	3
45.01...50	47,50	10	475,0	-7,56	57,11	-1,79843	0,0792	0,09421	9,42116	9,9749	15
50.01...55	52,50	32	1680,0	-2,56	6,54	-0,60849	0,3315	0,39449	39,44876	49,4236	51
55.01...60	57,50	30	1725,0	2,44	5,97	0,58145	0,3369	0,40089	40,08864	89,5123	85
60.01...65	62,50	10	625,0	7,44	55,40	1,77139	0,0831	0,09887	9,88708	99,3994	97
65.01...70	67,50	1	67,5	12,44	154,83	2,96133	0,0050	0,00592	0,59180	99,9912	98
70.01...75	72,50	1	72,5	17,44	304,26	4,15126	0,0001	0,00009	0,00860	99,9998	99
75.01...80	77,50	1	77,5	22,44	503,70	5,34120	0,0000	0,00000	0,00003	99,9998	100
Сума		88	4845,0		1 553,72			1,00000	99,99980		

Середня швидкість = 55,06

КРОК= 5
 V_{cp} = 55,05682
 S = 4,201897

Таблиця В.8 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для транспортного потоку при різних значеннях поздовжнього похилу

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i		$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2$	$\frac{(m_i - m'_i)^2}{m'_i}$	Вірогідність згоди
	Перша категорія, похил 0,008							
70–75	0	38	0	39,2	1,2	1,44	0,04	
75–80	1		0,014					
80–85	2		2,34					
85–90	35		36,8					
90–95	54		53,5		0,5	0,25	0,04	
95–100	8	8	7,39		0,61	0,37	0,05	
100–105	0							
105–110	0							
	100						0,094	0,6
	Перша категорія, похил 0,02							
70–75	0	12	0	5,44	6,56	43	7,9	
75–80	4		0,04					
80–85	8		5,4					
85–90	50		52,9		2,9	8,41	0,16	
90–95	40	47	39,4	41,6	5,4	29,16	0,7	
95–100	4		2,19					
100–105	2		0,009					
105–110	1		0					
	109						8,76	0.015
	Перша категорія, похил 0,03							
65–70	0	43	0,05	42,4	0,58	0,34	0,008	
70–75	4		3,77					
75–80	39		38,6					
80–85	49		49,5		0,5	0,25	0,005	
85–90	7	8	7,97	8,13	0,13	0,017	0,002	
90–95	1		0,16					
95–100	0		0,0014					
100–105	0		0					
	100						0,015	0,6
	Четверта категорія, похил 0,01							
60–65	3	38	0,02	38,7	0,67	0,4	0,01	
65–70	5		2,75					
70–75	30		35,9					
75–80	54		52,5		1,5	2,25	0,04	
80–85	10	12	8,6	8,8	3,18	10,1	1,14	
85–90	1		0,16					
90–95	1		0					
95–100	0		0					
	104						1,19	0,6
	Четверта категорія, похил 0,02							
55–60	0	8	0	8	0	0	0	
60–65	2		0,3					
65–70	6		7,7					
70–75	38		39,8		1,8	3,24	0,08	

Кінець табл. В.8

75–80	42		42,5		0,5	0,25	0,005	
80–85	9	10	9,3	9,7	0,3	0,09	0,01	
85–90	1		0,4					
90–95	0		0					
95–100	0		0					
	98						0,086	0,8
	Четверта категорія похил 0,03							
50–55	1	9	0,16	7,86				
55–60	8		7,07		1,14	1,3	0,7	
60–65	40		44,6		4,6	21,16	0,47	
65–70	40		42,06		2,06	4,24	0,1	
70–75	6	7	5,9	6,02	0,98	0,96	0,16	
75–80	1		0,12					
80–85	0		0					
85–90	0		0					
	96						1,43	0,8
	Четверта категорія похил 0,05							
35–40	1	13	0	9,92	3,08	9,4	0,95	
40–45	2		0,5					
45–50	10		9,42					
50–55	32		39,4		7,4	54,7	1,4	
55–60	30		40,1		10,1	102	2,5	
60–65	10	13	9,88	10,48	2,52	6,35	0,6	
65–70	1		0,6					
70–75	1		0					
75–80	1		0					
	88						5,45	0,15

Таблиця В.9 – Статистична обробка середньої швидкості руху легкових автомобілів на ділянці автомобільної дороги з радіусом горизонтальної кривої 50 м

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидкостей	Середина інтервалу X_i									Теоретична часність	Практична часність
25-30	27,50	1	27,5	-15,60	243,29	-5,64461	0,0000	0,0000001	0,00001	0,0000	1
30,01-35	32,50	2	65,0	-10,60	112,31	-3,83519	0,0003	0,00046	0,04618	0,0462	3
35,01-40	37,50	14	525,0	-5,60	31,34	-2,02577	0,0513	0,09275	9,27547	9,3217	18
40,01-45	42,50	47	1997,5	-0,60	0,36	-0,21634	0,3897	0,70516	70,51585	79,8375	70
45,01-50	47,50	25	1187,5	4,40	19,38	1,59308	0,1122	0,20293	20,29326	100,1308	97
50,01-55	52,50	2	105,0	9,40	88,40	3,40250	0,0012	0,00221	0,22107	100,3518	99
55,01-60	57,50	1	57,5	14,40	207,42	5,21193	0,0000	0,00000	0,00009	100,3519	100
Сума		92	3965,0		702,50			1,00352	100,35194		

Таблиця В.10 – Статистична обробка середньої швидкості руху вантажних автомобілів на ділянці автомобільної дороги з радіусом горизонтальної кривої 50 м

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко-стей	Середина інтервалу X_i									Теоре-тична часність	Практична часність
25-30	27,50	5	137,5	-10,64	113,29	-2,83253	0,0072	0,0096104	0,96104	0,9610	5
30,01-35	32,50	20	650,0	-5,64	31,85	-1,50190	0,1291	0,17185	17,18491	18,1460	25
35,01-40	37,50	42	1575,0	-0,64	0,41	-0,17127	0,3931	0,52312	52,31164	70,4576	66
40,01-45	42,50	28	1190,0	4,36	18,98	1,15936	0,2037	0,27108	27,10789	97,5655	94
45,01-50	47,50	4	190,0	9,36	87,54	2,48999	0,0180	0,02391	2,39133	99,9568	98
50,01-55	52,50	1	52,5	14,36	206,11	3,82063	0,0003	0,00036	0,03591	99,9927	99
55,01-60	57,50	1	57,5	19,36	374,67	5,15126	0,0000	0,00000	0,00009	99,9928	100
60,01-65	62,50	0	0,0	24,36	593,24	6,48189	0,0000	0,00000	0,00000	99,9928	100
Сума		101	3852,5		1 426,09			0,99993	99,99282		

Середня швидкість = 38,14

Таблиця В.11 – Статистична обробка середньої швидкості руху автобусів на ділянці автомобільної дороги з радіусом горизонтальної кривої 50 м

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидкостей	Середина інтервалу X_i									Теоретична часність	Практична часність
25-30	27,50	50	1375,0	-2,53	6,40	-1,01387	0,2386	0,4782227	47,82227	47,8223	59
30,01-35	32,50	28	910,0	2,47	6,10	0,99029	0,2443	0,48966	48,96563	96,7879	92
35,01-40	37,50	6	225,0	7,47	55,81	2,99445	0,0045	0,00903	0,90312	97,6910	99
40,01-45	42,50	1	42,5	12,47	155,52	4,99860	0,0000	0,00000	0,00030	97,6913	100
45,01-50	47,50	0	0,0	17,47	305,22	7,00276	0,0000	0,00000	0,00000	97,6913	100
Сума		85	2552,5		529,05			0,97691	97,69132		

Середня швидкість = 30,03

Таблиця В.12 – Статистична обробка середньої швидкості руху вавтопотягів на ділянці автомобільної дороги з радіусом горизонтальної кривої 50 м

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілі в M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
25-30	27,50	25	687,5	-5,93	35,17	-1,53966	0,1219	0,1582972	15,82972	15,8297	29
30,01-35	32,50	30	975,0	-0,93	0,87	-0,24152	0,3875	0,50300	50,29996	66,1297	64
35,01-40	37,50	24	900,0	4,07	16,56	1,05663	0,2283	0,29634	29,63437	95,7640	92
40,01-45	42,50	5	212,5	9,07	82,26	2,35478	0,0249	0,03237	3,23711	99,0012	98
45,01-50	47,50	1	47,5	14,07	197,96	3,65292	0,0005	0,00066	0,06556	99,0667	99
50,01-55	52,50	1	52,5	19,07	363,66	4,95107	0,0000	0,00000	0,00025	99,0670	100
55,01-60	57,50	0	0,0	24,07	579,35	6,24922	0,0000	0,00000	0,00000	99,0670	100
Сума		86	2875,0		1 275,82			0,99067	99,06697		

Середня швидкість = 33,43

Таблиця В.13 – Статистична обробка середньої швидкості руху легкових автомобілів на ділянці автомобільної дороги з радіусом горизонтальної кривої 100 м

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретич на часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
40-45	42,50	0	0,0	-27,82	773,78	-4,84003	0,0000	0,00000	0,00028	0,0003	0
45,01-50	47,50	1	47,5	-22,82	520,61	-3,97005	0,0002	0,00013	0,01312	0,0134	1
50,01-55	52,50	2	105,0	-17,82	317,44	-3,10007	0,0033	0,00284	0,28414	0,2975	4
55,01-60	57,50	9	517,5	-12,82	164,27	-2,23009	0,0332	0,02887	2,88722	3,1848	17
60,01-65	62,50	9	562,5	-7,82	61,10	-1,36011	0,1582	0,13763	13,76318	16,9479	30
65,01-70	67,50	15	1012,5	-2,82	7,93	-0,49013	0,3538	0,30779	30,77904	47,7270	51
70,01-75	72,50	12	870,0	2,18	4,77	0,37985	0,3712	0,32292	32,29151	80,0185	68
75,01-80	77,50	11	852,5	7,18	51,60	1,24983	0,1827	0,15893	15,89346	95,9120	83
80,01-85	82,50	6	495,0	12,18	148,43	2,11981	0,0422	0,03670	3,66983	99,5818	92
85,01-90	87,50	5	437,5	17,18	295,26	2,98979	0,0046	0,00398	0,39753	99,9793	99
90,01-95	92,50	1	92,5								
Сума		71	4992,5		2 345,19			0,99979	99,97931		

Середня швидкість = 70,32

Таблиця В.14 – Статистична обробка середньої швидкості руху вантажних автомобілів на ділянці автомобільної дороги з радіусом горизонтальної кривої 100 м

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидкостей	Середина інтервалу X_i									Теоретична часність	Практична часність
35-40	37,50	1	37,5	-24,57	603,90	-3,67157	0,0005	0,00035	0,03524	0,0352	2
40,01-45	42,50	3	127,5	-19,57	383,16	-2,92454	0,0055	0,00414	0,41400	0,4492	9
45,01-50	47,50	1	47,5	-14,57	212,42	-2,17751	0,0373	0,02784	2,78376	3,2330	11
50,01-55	52,50	8	420,0	-9,57	91,67	-1,43048	0,1434	0,10713	10,71282	13,9458	28
55,01-60	57,50	6	345,0	-4,57	20,93	-0,68345	0,3158	0,23595	23,59483	37,5406	40
60,01-65	62,50	8	500,0	0,43	0,18	0,06358	0,3981	0,29742	29,74200	67,2826	57
65,01-70	67,50	8	540,0	5,43	29,44	0,81061	0,2872	0,21457	21,45676	88,7394	74
70,01-75	72,50	8	580,0	10,43	108,69	1,55764	0,1186	0,08859	8,85928	97,5987	91
75,01-80	77,50	2	155,0	15,43	237,95	2,30467	0,0280	0,02094	2,09350	99,6922	96
80,01-85	82,50	2	165,0	20,43	417,20	3,05170	0,0038	0,00283	0,28313	99,9753	100
Сума		47	2917,5		2 105,53			0,99975	99,97532		

Середня швидкість = 62,07

Таблиця В.15 – Статистична обробка середньої швидкості руху автобусів на ділянці автомобільної дороги з радіусом горизонтальної кривої 100 м

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілі в M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
30,01...35	32,50	2	65,0	-19,43	377,68	-3,64953	0,0005	0,00048	0,04801	0,0480	4
35,01...40	37,50	2	75,0	-14,43	208,34	-2,71057	0,0101	0,00951	0,95089	0,9989	8
40,01...45	42,50	6	255,0	-9,43	89,00	-1,77162	0,0831	0,07799	7,79853	8,7974	19
45,01...50	47,50	10	475,0	-4,43	19,66	-0,83266	0,2821	0,26485	26,48516	35,2826	38
50,01...55	52,50	16	840,0	0,57	0,32	0,10630	0,3967	0,37248	37,24790	72,5305	68
55,01...60	57,50	8	460,0	5,57	30,98	1,04525	0,2310	0,21693	21,69253	94,2230	83
60,01...65	62,50	6	375,0	10,57	111,64	1,98421	0,0557	0,05232	5,23152	99,4545	94
65,01...70	67,50	2	135,0	15,57	242,30	2,92317	0,0056	0,00522	0,52246	99,9770	98
70,01...75	72,50	1	72,5	20,57	422,96	3,86212	0,0002	0,00022	0,02161	99,9986	100
Сума		53	2752,5		1 502,88			0,99999	99,99861		

Середня швидкість = 51,93

Таблиця В.16 – Статистична обробка середньої швидкості руху автопотягів на ділянці автомобільної дороги з радіусом горизонтальної кривої 100 м

Значення швидкостей, км/год.		Кількість автомобілів M_j	$X_i \times M_i$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$	$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$	$f(t) = \frac{e^{-\frac{t^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$	Імовірність інтервалів $\frac{H}{S} f(t)$	Теоретична часність M'_i	Накопичена часність	
митєвих швидко- стей	Середина інтервалу X_i									Теоре- тична часність	Практична часність
40,01-45	42,50	1	42,5	-15,78	249,05	-2,72451	0,0098	0,00842	0,84169	0,8417	3
45,01-50	47,50	2	95,0	-10,78	116,24	-1,86130	0,0706	0,06092	6,09165	6,9333	9
50,01-55	52,50	8	420,0	-5,78	33,42	-0,99809	0,2424	0,20927	20,92712	27,8605	34
55,01-60	57,50	12	690,0	-0,78	0,61	-0,13488	0,3953	0,34125	34,12533	61,9858	72
60,01-65	62,50	3	187,5	4,22	17,80	0,72833	0,3060	0,26414	26,41416	88,4000	81
65,01-70	67,50	2	135,0	9,22	84,99	1,59155	0,1124	0,09705	9,70486	98,1048	88
70,01-75	72,50	3	217,5	14,22	202,17	2,45476	0,0196	0,01693	1,69252	99,7973	97
75,01-80	77,50	1	77,5	19,22	369,36	3,31797	0,0016	0,00140	0,14011	99,9374	100
Сума		32	1865,0		1 073,63			0,99937	99,93744		

Середня швидкість = 58,28

Таблиця В.17 – Порівняння середніх розрахункових швидкостей руху транспортного потоку з фактичними

Розрахункова формула	Радіус 75м			Радіус 250			Прямолінійна ділянка		
	Розрахунок	Фактична	Різниця	Розрахунок	Фактична	Різниця	Розрахунок	Фактична	Різниця
$V_n = V_0 \cdot \theta - \alpha \cdot K_\alpha \cdot N$	36,9	45	-8,1	37,0	60	-23	37,2	62	-25,8
$V_0 = 29,0 + 3,85B - 0,53i + 0,0096R + 10,8n_n - 10,3n_{асм}$	54,7		10,3	58,3		-1,7	65,5		5,5
$V_{вил} = V_n \times \alpha + V_g \times \beta + V_{ас} \times \gamma + V_{ан} \times \rho,$	62,9		-	62,9		2,9	62,9		0,9
$V_R = \frac{R^{0,25} \times V_0}{2}$	36,7		-8,3	48,7		-11,3	62,0		0
$V = 59 - 0,015N$	57,53		12,53	57,53		-2,5	57,53		-5,47
$V = 67,23 - 0,0164N$	65,6		20,6	65,6	60	5,6	65,6	62	3,6
$V = 52 - 0,019 - 0,00014p_n \cdot N + 0,22p_n$	50,2		5,2	50,2		-9,8	50,2		-9,8
$V = 58 + 1,58B$	67,48		22,48	67,48		7,48	67,48		7,48
$V_n = 88 - 0,168S$	58,6	45	13,6	58,6	60	-1,4	58,6	62	-3,4
$V = 78 \left[1 - \exp(-0,0159R) \right]$	54,6		9,6	76,4		16,4	78		16
$V = 62,2 - 0,521i + 0,009 \cdot 7R + 11,16p_n - 9,6p_{асм}$	66,8		21,8	68,5		8,5	66,7		4,7

Таблиця В.18 – Розрахунок експериментальних даних при порівнянні по критерію Пірсона для транспортного потоку при різних значеннях поздовжнього похилу

Інтервали швидкостей	m_i		m'_i	$m_i - m'_i$	$(m_i - m'_i)^2$	$\frac{(m_i - m'_i)^2}{m'_i}$	Вірогідність згоди	
	Легкові автомобілі радіус 100м							
45-50	0	14	0	9,73	5,27	27,7	2,85	P=0,17
50-55	1		0,005					
55-60	4		0,46					
60-65	9		9,27					
65-70	30		39,3		9,3	86,5	2,2	
70-75	32		40,9		8,9	79,2	1,9	
75-80	10	15	9,93	10,5	4,5	20,2	1,92	
80-85	4		0,56					
85-90	1		0,007					
	91					8,87		
	Вантажні автомобілі радіус 100 метрів							
40-45	1	13	0	9,9	3,1	9,61	0,97	P=0,0821
45-50	2		0,02					
50-55	10		5,81					
55-60	30		40,3		8,7	75,7	2,5	
60-65	32		40		8	64	1,6	
65-70	11	14	11	9,7	4,3	18,5	1,9	
70-75	1		0,5					
75-80	1		0,004					
80-85	1		0					
	91					5		
	Автобуси радіус 100 метрів							
30-35	1	12	0	7,82	4,18	17,4	2,23	P=0,135
35-40	3		0,25					
40-45	8		7,27					
45-50	35		40,6		5,6	31,4	0,78	
50-55	45		42,9		2,1	4,41	0,1	
55-60	8	11	8,6	8,6	2,4	5,76	0,67	
60-65	1		0,003					
65-70	2		0,0002					
	103					3,87		
	Авто потяги радіус 100 метрів							
40-45	1	13	0	9,3	3,7	13,69	1,47	P=0,0821
45-50	2		0,14					
50-55	10		8,9					
55-60	45		54,5		9,5	90,2	1,65	
60-65	35		34,4		0,6	0,36	0,001	
65-70	2	4	2,2	2,2	1,8	3,24	1,47	
70-75	1		0,0004					
75-80	1		0					
	97					4,6		
	Легкові автомобілі радіус 50 метрів							

Продовження табл. В.18

25-30	1	17	0	9,28	8,28	68,5	8,27	P=0,012
30-35	2		0,005					
35-40	14		9,27					
40-45	47		70,5		23,5	552,2	7,8	
35-50	25	28	20,8	20,52	7,5	56,25	2,74	
50-55	2		0,22					
55-60	1		0					
	92						18,8	
	Вантажні автомобілі радіус 50 метрів							
25-30	5	25	0,96	18,14	6,86	47,05	2,59	P=0,061
30-35	20		17,1					
35-40	42		52,3		10,3	106	2,02	
40-45	28		27,1		0,9	0,81	0,03	
45-50	4	6	2,4	2,46	3,57	12,7	5,2	
50-55	1		0,03					
55-60	1		0					
	101						9,84	
	Автобуси радіус 50 метрів							
25-30	50		47,2		2,2	4,84	0,1	P=0,13
30-35	28	35	48,9	49,8	14,8	219	4,4	
35-40	6		0,9					
40-45	1		0,0003					
45-50	0		0					
	85						4,5	
	Автопотяги радіус 50 метрів							
25-30	50		47,6		2,6	6,76	0,14	P=0,082
30-35	28	35	49,8	14,8	219	4,4		
35-40	6							
40-45	1							
45-50	0							
	86						4,54	

ДОДАТОК Г**ДОВІДКОВІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ МАКСИМАЛЬНОЇ
ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ СМУГОЮ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ,
СЕРЕДНЬОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ ТА ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ НА
ПЕРЕХРЕЩЕННЯХ І ПРИМИКАННЯХ**

Рисунок Г.1 – Графік залежності коефіцієнта А від середньої довжини автомобіля

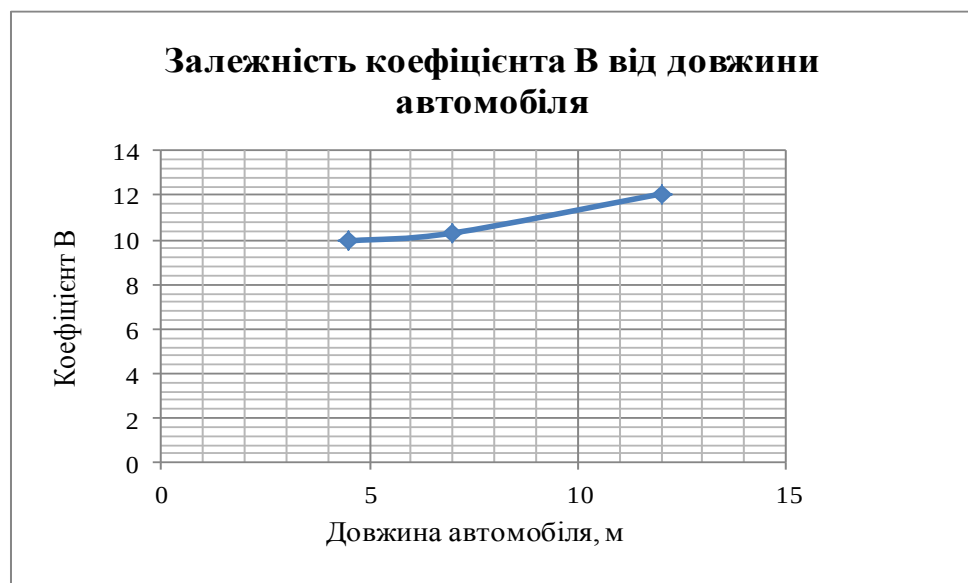


Рисунок Г.2 – Графік залежності коефіцієнта В від середньої довжини автомобіля

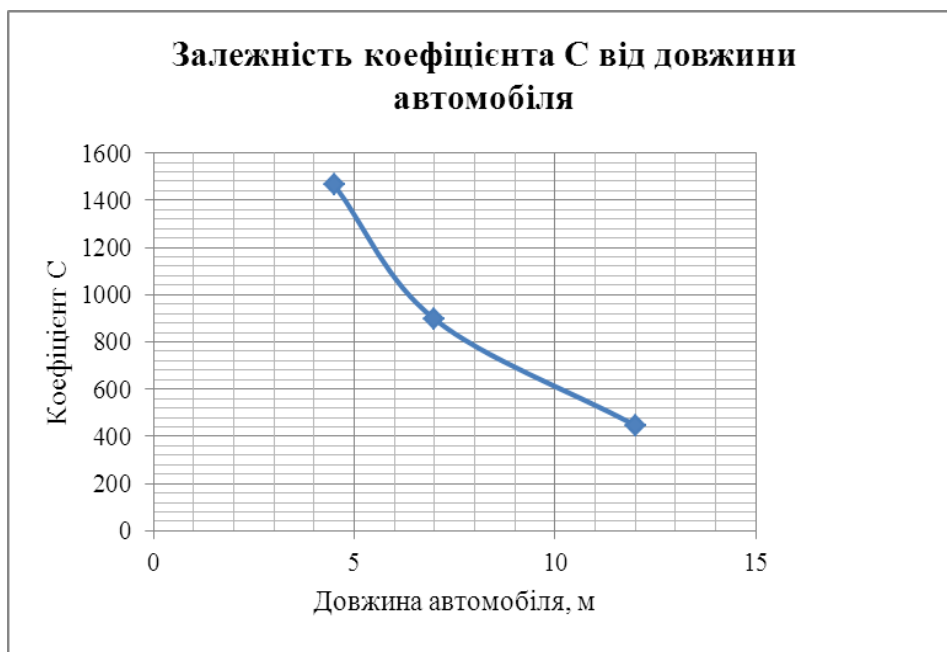


Рисунок Г.3 – Графік залежності коефіцієнта С від середньої довжини автомобіля

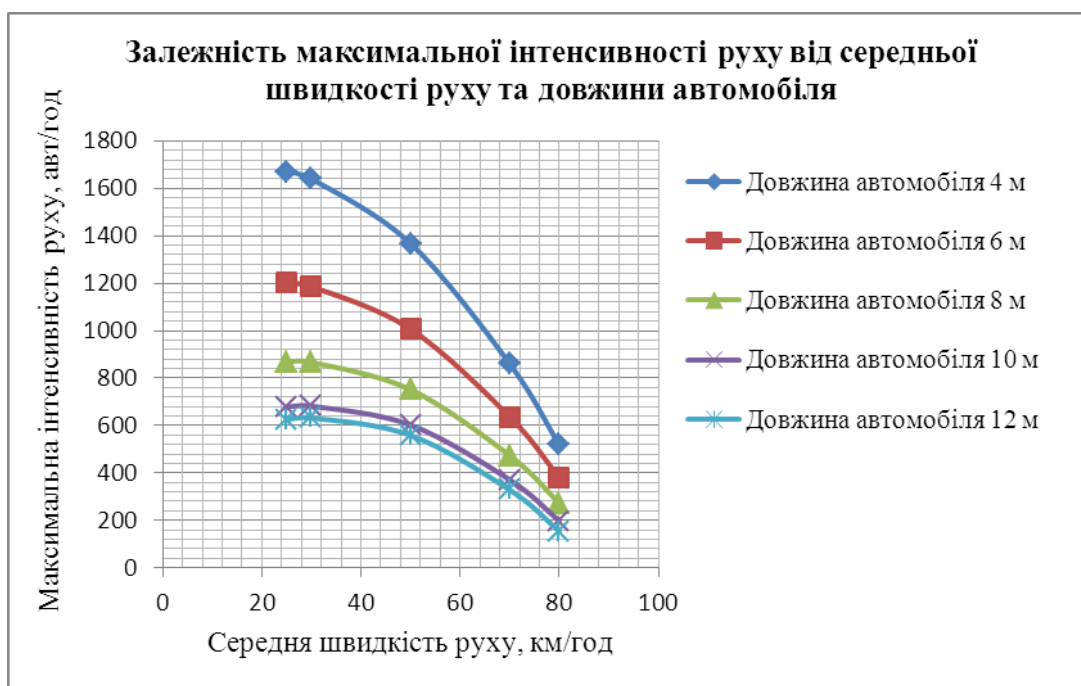


Рисунок Г.4 – Графік залежності максимальної інтенсивності руху смугою від середньої швидкості руху та довжини автомобіля

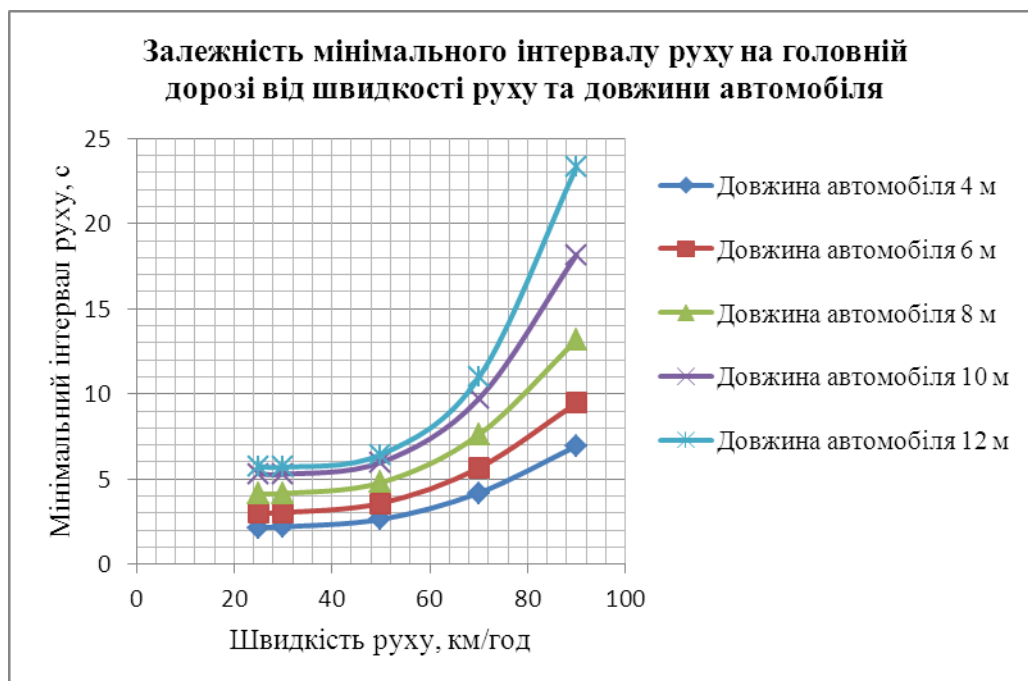


Рисунок Г.5 – Графік залежності мінімального інтервалу на головній дорозі від швидкості руху та середньої довжини автомобіля

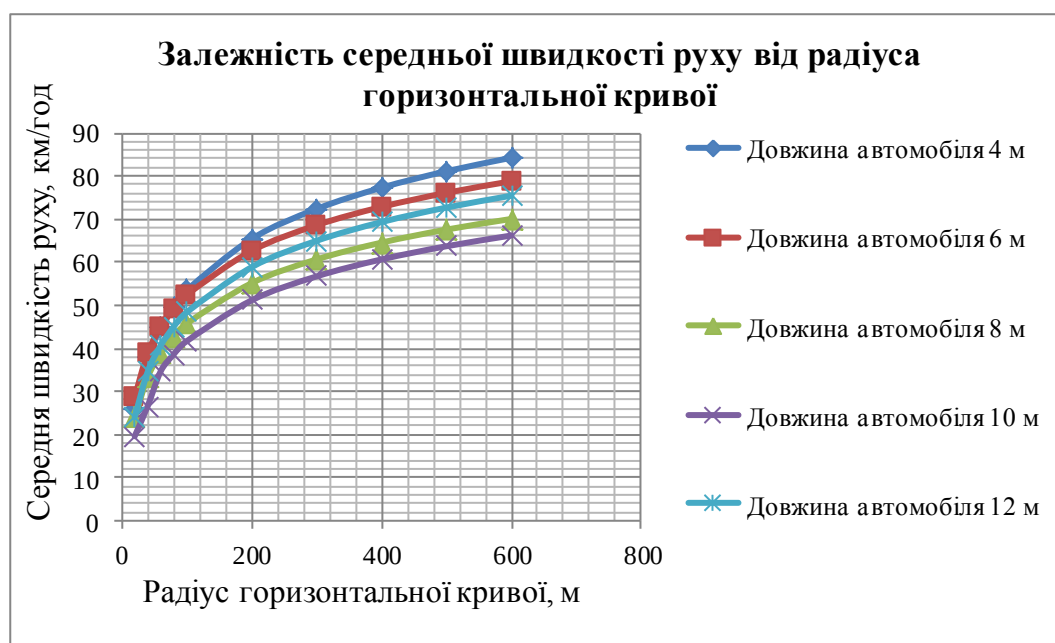


Рисунок Г.6 – Графік залежності середньої швидкості руху від радіуса горизонтальної кривої та середньої довжини автомобіля



Рисунок Г.7 – Графік залежності понижуючих коефіцієнтів від поздовжнього похилу

Таблиця Г.1 – Середня швидкість вільного руху транспортного потоку в залежності від його складу та категорії дороги

№ п/п	Категорія дороги	Кількість смуг руху	Середня швидкість, км/год			
			Легкові	Вантажні	Автобуси	Автопотяги
1	Ia	6	91,13	75,70	77,50	81,03
2	Iб	4	88,04	75,77	74,61	80,00
3	II	2	84,29	71,90	71,50	72,93
4	III	2	79,72	67,06	69,33	71,11
5	IV	2	75,83	64,08	67,03	68,75

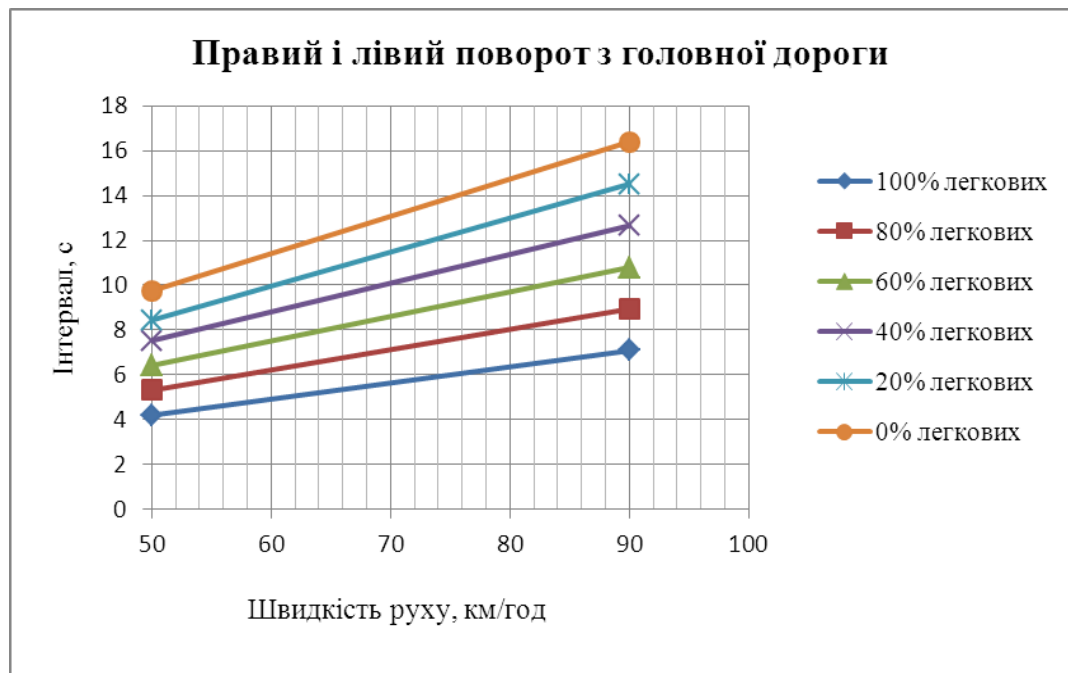


Рисунок Г.8 – Графік визначення інтервалу для виконання повороту праворуч та ліворуч з головної дороги в залежності від швидкості руху та частки легкових автомобілів у транспортному потоці

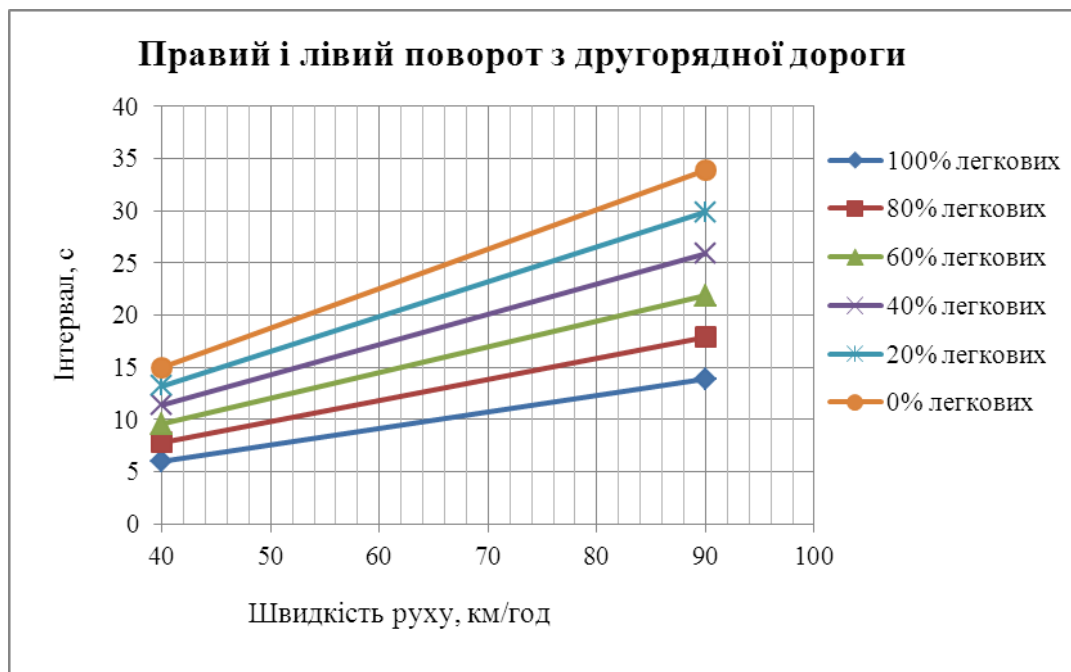


Рисунок Г.9 – Графік визначення інтервалу для виконання повороту праворуч та ліворуч з другорядної дороги в залежності від швидкості руху та частки легкових автомобілів у транспортному потоці

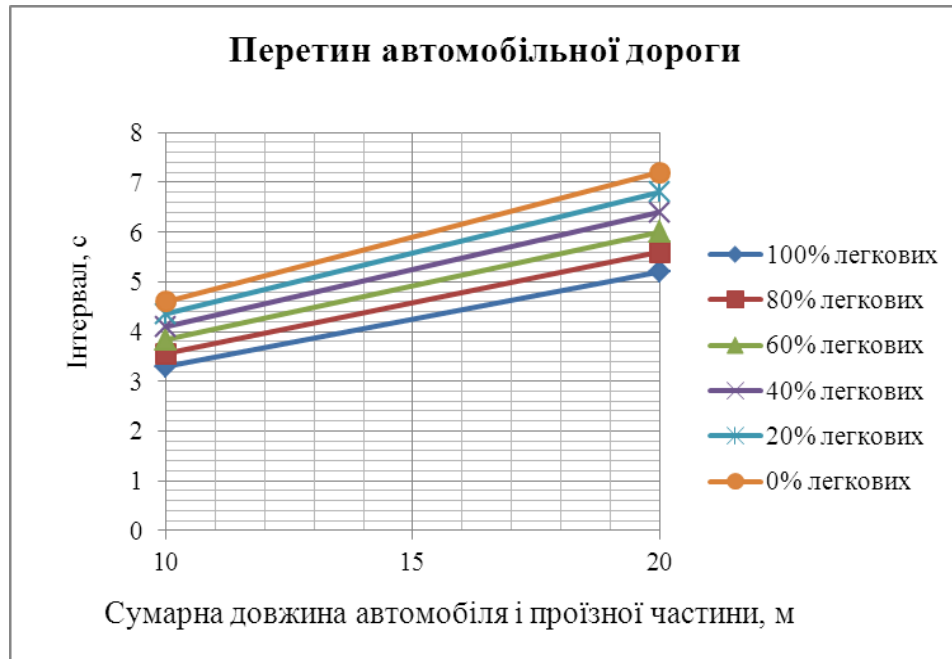


Рисунок Г.10 – Графік визначення інтервалу для виконання перетину головної дороги в залежності від частки легкових автомобілів

Таблиця Г. 2 – Розрахунковий інтервал зміни смуги руху в залежності від середньої швидкості транспортного потоку на головній дорозі та ширини смуги руху

Швидкість руху, км/год	30	50	60	80	90	100	110	120	140
Радіус кривої, м	30	100	150	300	450	600	700	800	1100
Інтервал при ширині смуги руху 3 м	2,27	2,5	2,55	2,7	2,93	3,06	3	2,94	2,96
Інтервал при ширині смуги руху 3,5 м	2,42	2,7	2,76	2,92	3,17	3,3	3,24	2,97	3,19
Інтервал при ширині смуги руху 3,75 м	2,5	2,8	2,85	3,02	3,28	3,42	3,35	3,29	3,31

Приклад розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги

Вихідні дані:

1. Категорія дороги – IV

2. Склад транспортного потоку:

– легкові – 60%;

– вантажні – 25%;

– автобуси – 10%;

– автопотяги – 5%.

3. Середня швидкість руху транспортного потоку – $V = 77,6$ км/год

Розрахунок:

4. Розрахунок середньої довжини автомобіля у транспортному потоці:

$$l_a = 4,5 \cdot 0,6 + 7,0 \cdot 0,25 + 10,5 \cdot 0,1 + 12,0 \cdot 0,05 = 6,1 \text{ м}$$

5. Розрахунок коефіцієнта A :

$$A = -0,0026 \cdot l_a^2 + 0,0538 \cdot l - 0,4678 = -0,0026 \cdot 6,1^2 + 0,0538 \cdot 6,1 - 0,4678 = -0,23$$

6. Розрахунок коефіцієнта B :

$$B = 0,0277 \cdot l_a^2 - 0,1752 \cdot l + 10,182 = 0,0277 \cdot 6,1^2 - 0,1752 \cdot 6,1 + 10,182 = 10,152$$

7. Розрахунок коефіцієнта C :

$$C = 18,362 \cdot l_a^2 - 438,84 \cdot l_a + 3069 = 18,362 \cdot 6,1^2 - 438,84 \cdot 6,1 + 3069 = 1075$$

8. Розрахунок практичної пропускної здатності:

$$N = AV^2 + BV + C = 0,23 \cdot 77,6^2 + 10,152 \cdot 77,6 + 1075 = 441 \text{ авт/год}$$

9. Розрахунок мінімального інтервалу $t_{\min}$:

$$t_{\min} = \frac{3600}{441} = 8,16 \text{ с}$$

Приклад розрахунку максимальної інтенсивності руху смугою автомобільної дороги у разі відсутності даних середньої швидкості руху транспортного потоку

Вихідні дані:

1. Категорія дороги – IV
2. Склад транспортного потоку :
 - легкові – 60%
 - вантажні – 25%
 - автобуси – 10%
 - автопотяги – 5%
3. Радіус горизонтальної кривої

$$R = 75 \text{ м}, R = 150 \text{ м}$$

4. Поздовжній похил:

$$i = 0.04, i = 0.02$$

Розрахунок 2:

1. Розрахунок середньої довжини автомобіля у транспортному потоці

$$l_a = 4,5 \cdot 0,6 + 7,0 \cdot 0,25 + 10,5 \cdot 0,1 + 12,0 \cdot 0,05 = 6,1 \text{ м}$$

2. Розрахунок середньої швидкості вільного руху

$$V_{\text{св}} = V_{\text{л}} \cdot a + V_{\text{в}} \cdot b + V_{\text{ав}} \cdot c + V_{\text{ап}} \cdot d = 75,83 \cdot 0,6 + 64,08 \cdot 0,25 + 67,03 \cdot 0,1 + 68,75 \cdot 0,05 = 71,65$$

км/год

3. Середня швидкість при радіусі горизонтальної кривої $R = 75 \text{ м}$

$$V_r = \sqrt{0,004l_a^2 - 0,0863l_a + 1,0018R} + \sqrt{0,0169l_a^2 + 0,2793l_a + 1,7161} = 49,43 \text{ км/год}$$

4. Середня швидкість при радіусі горизонтальної кривої $R = 100 \text{ м}$

$$V_r = \sqrt{0,004l_a^2 - 0,0863l_a + 1,0018R} + \sqrt{0,0169l_a^2 + 0,2793l_a + 1,7161} = 64,97 \text{ км/год}$$

5. Середня швидкість при радіусі горизонтальної кривої $R = 150 \text{ м}$

$$V = (0,0018l_a + 0,0042)R + (-2,1429l_a + 77,752) = 66,95 \text{ км/год}$$

6. Середня швидкість при поздовжньому похилі $i = 0,04, i = 0,02$

$$V_i = V_{\text{св}} - 283,79 \cdot i = 71,65 - 283,79 \cdot 0,04 = 60,29$$

$$V_s = V_{\text{св}} - 283,79 \cdot i = 71,65 - 283,79 \cdot 0,02 = 65,97$$

Приклад розрахунку максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях на ділянці автомобільної дороги Київ – Суми на основі удосконаленого методу

Ділянка автомобільної дороги III категорії Київ – Суми на ділянці від перетину з автомобільною дорогою Ніжин – Прилуки до перетину з автомобільною дорогою Ічня – Прилуки:

1. кільцеве перехрещення з автомобільною дорогою Ніжин – Прилуки;
2. примикання автомобільної дороги IV категорії від населеного пункту Стрельники до дороги III категорії Київ – Суми без ПШС;
3. перехрещення з автомобільною дорогою IV категорії Сухополова – Лісові Сорочинці без перехідно-швидкісних смуг;
4. примикання автомобільної дороги IV категорії Сухополова до дороги III категорії Київ – Суми;
5. перехрещення з автомобільною дорогою III категорії Ічня – Прилуки з перехідно-швидкісними смугами.

На рисунках Г.12 та Г.13 показана розглянута ділянка автомобільної дороги Київ – Суми з примиканнями та перехрещеннями з виділенням їх категорій.

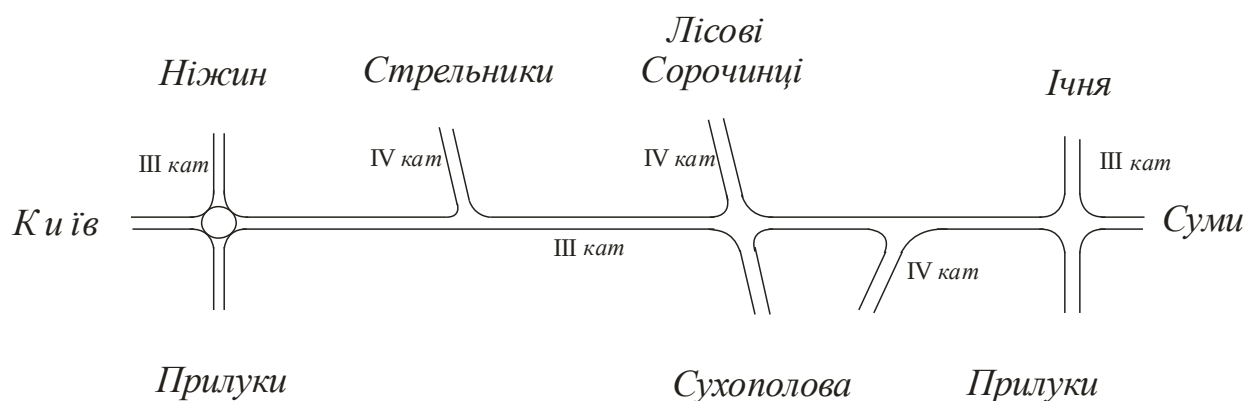


Рисунок Г.12 – Схема ділянки автомобільної дороги III категорії Київ – Суми від перетину з автомобільною дорогою Ніжин – Прилуки до перетину з автомобільною дорогою Ічня – Прилуки

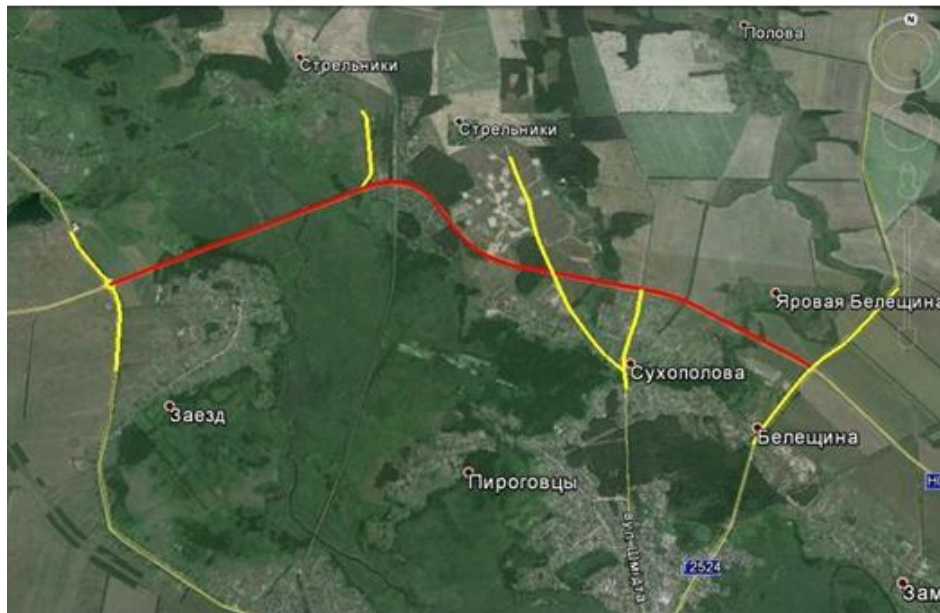


Рисунок Г.13 – Ділянка автомобільної дороги III категорії Київ – Суми від перетину з автомобільною дорогою Ніжин – Прилуки до перетину з автомобільною дорогою Ічня – Прилуки

Початок ділянки на перехрещенні доріг Київ – Суми та Ніжин – Прилуки (дорога III категорії).

Склад транспортного потоку на автомобільній дорозі Київ – Суми:

- легкові автомобілі – 60 % ;
- вантажні автомобілі – 20 %;
- автобуси – 10 %;

автопотяги – 10 %.

1. Розрахунок мінімального інтервалу руху на головній дорозі (Київ – Суми) :

1. Середня довжина автомобіля у транспортному потоці (1.29):

$$l_{\text{сер}} = 4,5 \cdot 0,6 + 7,0 \cdot 0,2 + 10,5 \cdot 0,1 + 12,0 \cdot 0,1 = 6,35 \text{ м.}$$

2. Середня швидкість руху транспортного потоку на автомобільній дорозі Київ – Суми (1.45):

$$V_{\text{с}} = 84,3 \cdot 0,6 + 71,9 \cdot 0,2 + 71,5 \cdot 0,1 + 72,9 \cdot 0,1 = 79,4 \text{ км/год.}$$

3. Інтенсивність руху транспортного потоку на автомобільній дорозі Київ – Суми (3.26):

$N(V = 79,4) = 375$ авт/год.

4. Мінімальний часовий інтервал між автомобілями на автомобільній дорозі Київ – Суми (2.6):

$$t_{\min} = \frac{3600}{375} = 9,6 \text{ с.}$$

2. Розрахунок максимальної інтенсивності руху на перехрещеннях та примиканнях на ділянці автомобільної дороги Київ – Суми:

Розрахунок максимальної інтенсивності руху на перетині з автомобільною дорогою Сухополова – Лісові Сорочинці

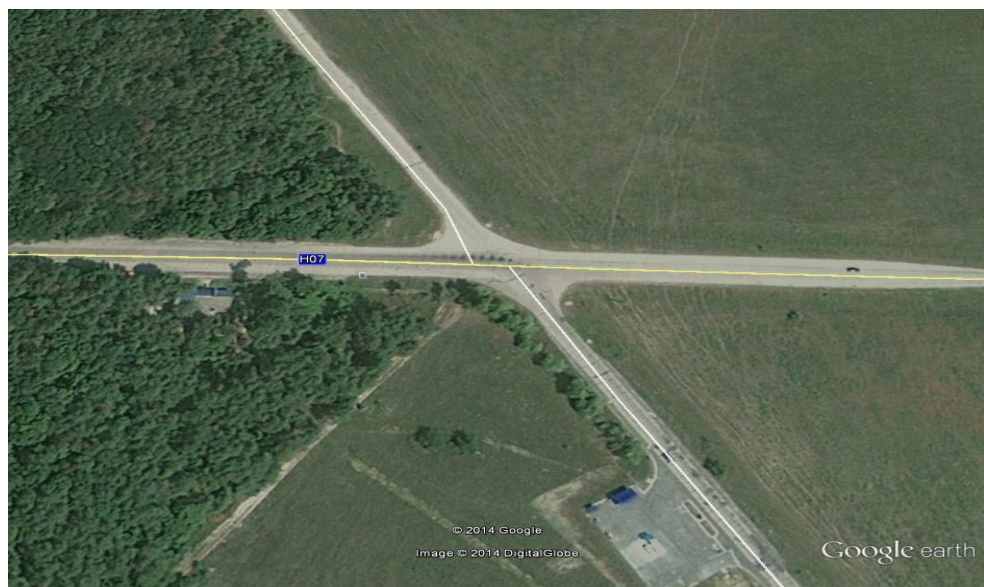


Рисунок Г.12 – Перехрещення з автомобільною дорогою Сухополова – Лісові Сорочинці

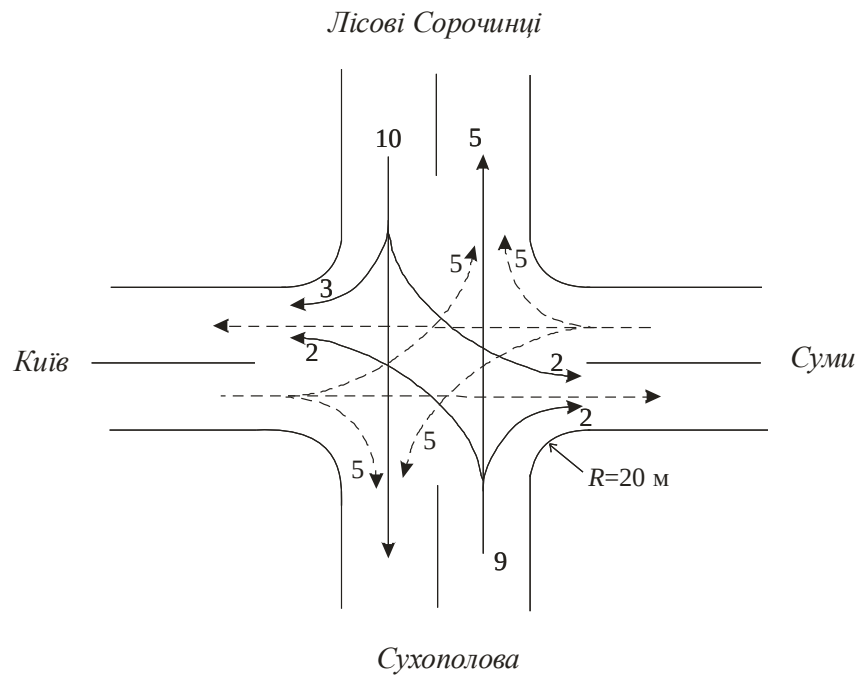


Рисунок Г.13 – Розподіл інтенсивності руху на перехрещенні з автомобільною дорогою Сухополова – Лісові Сорочинці (інтенсивність в авт/год)

1). Розрахунок часових інтервалів для виконання маневрів на перехрещенні

– поворотів ліворуч і праворуч з другорядної дороги на головну:

$$t = \frac{V_1 - V_2}{a};$$

$$V_1 = 79,4 \text{ км/год};$$

$$V_2 = 0 \text{ км/год};$$

$$a = 1,82 \cdot 0,6 + 0,74 \cdot 0,2 + 0,74 \cdot 0,1 + 0,74 \cdot 0,1 = 1,39 \text{ м/с}^2;$$

$$t = \frac{22 - 0}{1,39} = 15,9 \text{ с};$$

– поворотів ліворуч і праворуч з головної дороги на другорядну:

$$t = \frac{V_1 - V_2}{a};$$

$$V_1 = 79,4 \text{ км/год};$$

$$V_2 = 20 \text{ км/год};$$

$$a = 1,39 \text{ м/с}^2;$$

$$t = \frac{22 - 5,56}{1,39} = 11,8 \text{ с.}$$

– переїзду автомобілями головної дороги Київ – Суми

$$S = 3,5 \cdot 2 + 6,35 = 13,35 \text{ м;}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot S \cdot a}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 13,35 \cdot 1,39}{1,39}} = 4,4 \text{ с.}$$

2). Розрахунок інтервалу руху автомобілів на головній дорозі:

До розрахунку приймається максимальний часовий інтервал для виконання маневру на перехрещенні:

$$T = t_p + t_{\min} = 15,9 + 9,6 = 25,5 \text{ с.}$$

3) Розрахунок інтенсивності руху на головній дорозі, що забезпечить безпечний в'їзд автомобілів з другорядної дороги:

$$N = \frac{3600}{25,5} = 142 \text{ авт/год.}$$

4) Розрахунок максимальної інтенсивності руху в прямому напрямку (напрямок Суми – Київ) :

На ділянці $B - C$:

$$N_{BC} = 142 + (142 - 5 - 5 - 5 - 2 - 3 - 2) = 262 \text{ авт/год.}$$

На ділянці $C - D$:

$$N_{CD} = 262 + 10 = 272 \text{ авт/год.}$$

На ділянці $B - A$:

$$N_{BA} = 262 + 2 + 3 = 267 \text{ авт/год.}$$

5). Розрахунок максимальної інтенсивності руху в зворотному напрямку (напрямок Київ – Суми):

На ділянці $K - M$:

$$N_{KM} = 142 + (142 - 2 - 2 - 5 - 5 - 5 - 2) = 263 \text{ авт/год.}$$

На ділянці $A - K$:

$$N_{AK} = 263 + 10 = 273 \text{ авт/год.}$$

На ділянці $M - D$:

$$N_{MD} = 273 + 2 + 2 = 267 \text{ авт/год.}$$

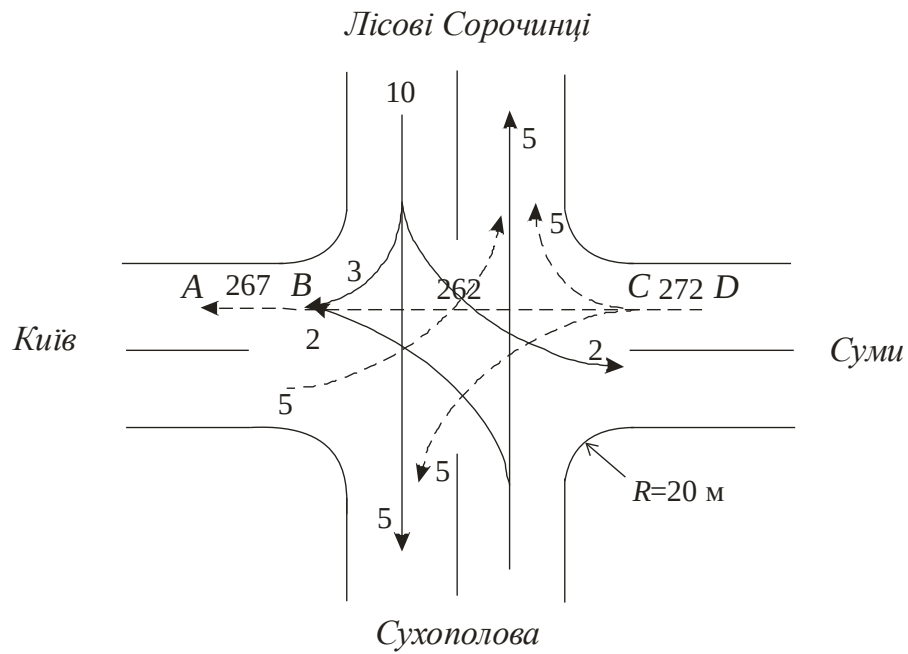


Рисунок Г.14 – Схема розподілу інтенсивності руху на перехрещенні у напрямку Суми – Київ

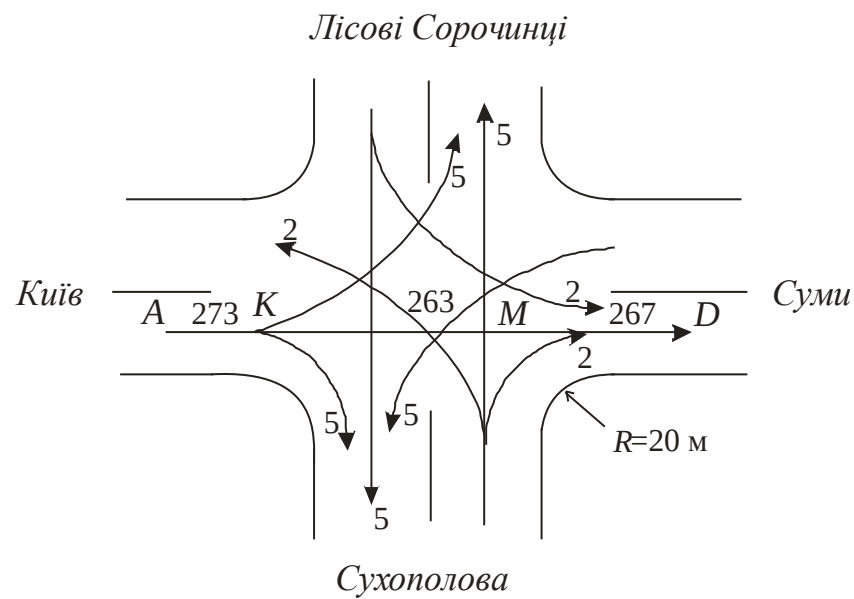


Рисунок Г.15 – Схема розподілу інтенсивності руху на перехрещенні у напрямку Київ – Суми

6). Розрахунок інтенсивності руху на другорядній дорозі:

Напрямок Лісові Сорочинці – Сухополова:

$$N_{C-II} = 5 + 5 + 5 + 5 + 2 + 2 = 24 \text{ авт/год.}$$

Напрямок Сухополова – Лісові Сорочинці:

$$N_{П-С} = 5 + 5 + 5 + 5 + 2 + 3 = 25 \text{ авт/год.}$$

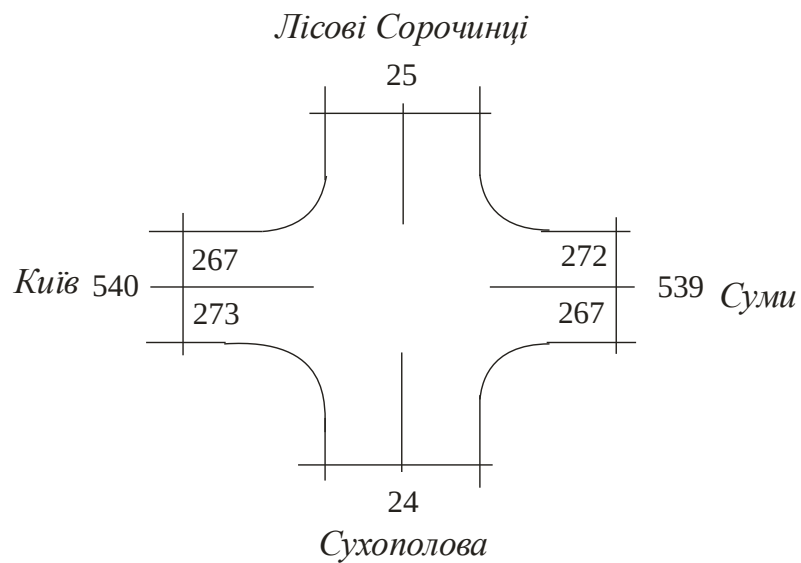


Рисунок Г.16 – Схема інтенсивності руху на перетині автомобільних доріг Київ – Суми та Лісові Сорочинці – Сухополова

Розрахунок максимальної інтенсивності руху на перетині з автомобільною дорогою Ічня – Прилуки



Рисунок Г.17 – Перетин з автомобільною дорогою Ічня – Прилуки

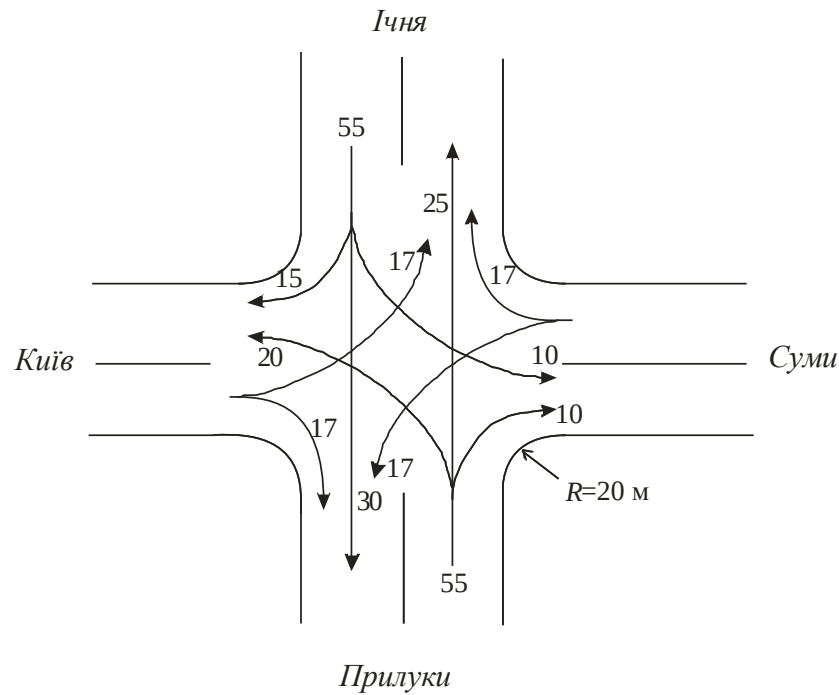


Рисунок Г.18 – Розподіл інтенсивності руху на перетині з автомобільною дорогою Ічня – Прилуки

1). Розрахунок часових інтервалів для виконання маневрів на перехрещенні

– поворотів ліворуч і праворуч з другорядної дороги на головну:

$$t_{\text{зсмуги}} = \frac{2\sqrt{b \cdot R} \cdot 3,6}{V} = \frac{2\sqrt{3,5 \cdot 500} \cdot 3,6}{79,4} = 3,8 \text{ с};$$

– повороту ліворуч з головної дороги на другорядну:

$$S = 3,5 \cdot 2 + 6,35 = 13,35 \text{ м}$$

$$t_1 = \frac{\sqrt{2S \cdot a}}{a} = \frac{\sqrt{2 \cdot 13,35 \cdot 1,39}}{1,39} = 4,4 \text{ с};$$

– повороту праворуч з головної дороги на другорядну:

$$t_{\text{зсмуги}} = \frac{2\sqrt{b \cdot R} \cdot 3,6}{V} = \frac{2\sqrt{3,5 \cdot 500} \cdot 3,6}{79,4} = 3,8 \text{ с};$$

– переїзду автомобілями головної дороги Київ – Суми:

$$t = \frac{\sqrt{2 \cdot S \cdot a}}{a} = \frac{\sqrt{2 \cdot (14 + 6,35) \cdot 1,39}}{1,39} = 7,85 \text{ с}.$$

2) Розрахунок інтервалу руху автомобілів на головній дорозі:

5). Розрахунок максимальної інтенсивності руху в зворотному напрямку
Київ – Суми

На ділянці $M - N$:

$$N_{MN} = 188 + (188 - (17 + 30 + 25 + 20 + 10 + 10)) = 267 \text{ авт/год.}$$

На ділянці $K - M$:

$$N_{KM} = 267 + 17 + 17 = 301 \text{ авт/год.}$$

На ділянці $N - Y$:

$$N_{NY} = 267 + 10 + 10 = 287 \text{ авт/год.}$$

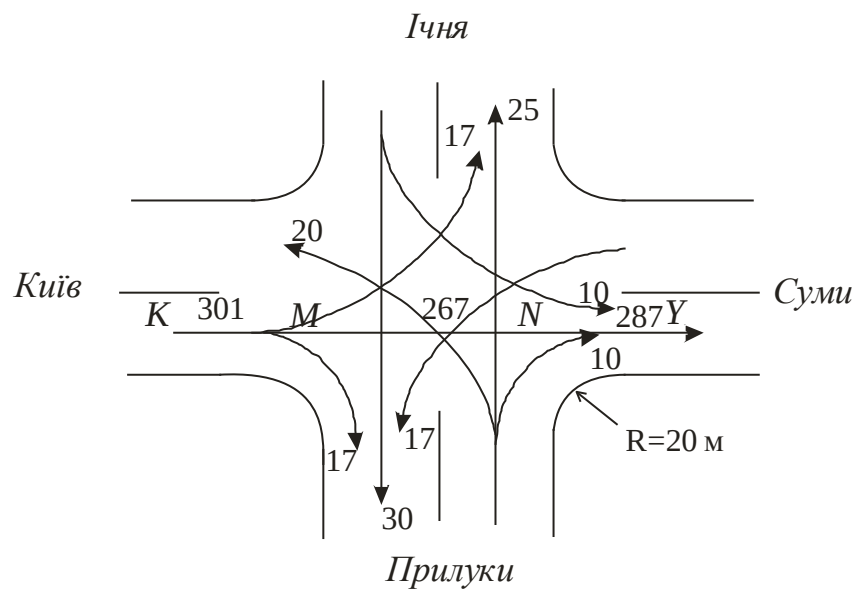


Рисунок Г.20 – Схема інтенсивності руху на перехрещенні у напрямку
Київ – Суми

6). Розрахунок інтенсивності руху на другорядній дорозі:

Напрямок Ічня – Прилуки:

$$N_{I-P} = 30 + 17 + 17 + 25 + 10 + 20 = 119 \text{ авт/год.}$$

Напрямок Прилуки – Ічня:

$$N_{P-I} = 25 + 17 + 17 + 15 + 10 + 30 = 114 \text{ авт/год.}$$

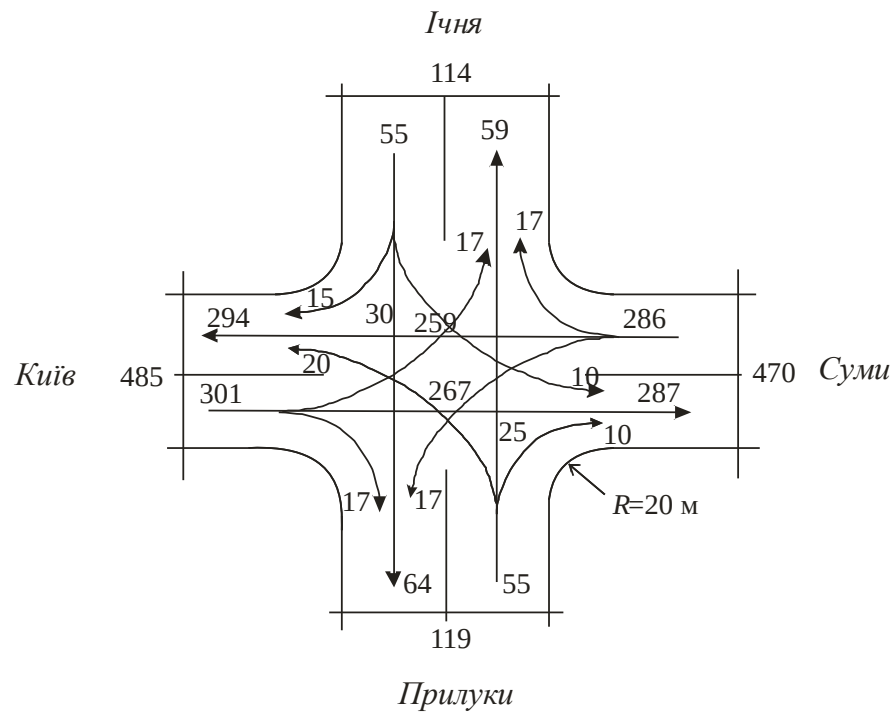


Рисунок Г.21 – Схема інтенсивності руху на перехрещенні автомобільних доріг Київ – Суми та Ічня – Прилуки

Розрахунок максимальної інтенсивності руху на примиканні автомобільної дороги від населеного пункту Сухополова до автомобільної дороги Київ – Суми

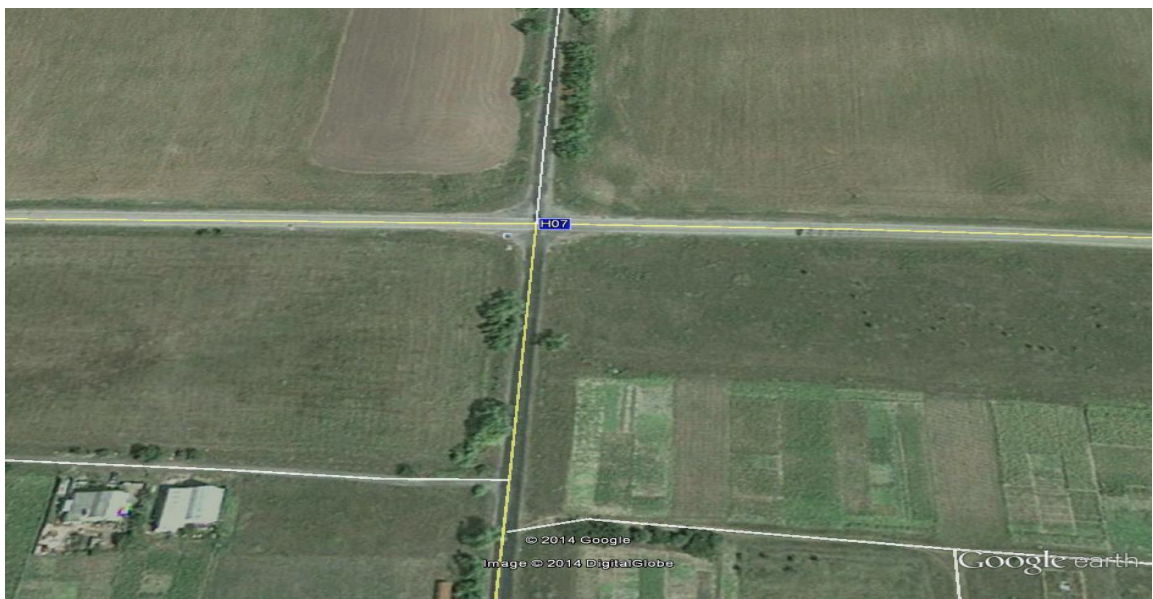


Рисунок Г.22 – Примикання автомобільної дороги від населеного пункту Сухополова до автомобільної дороги Київ – Суми

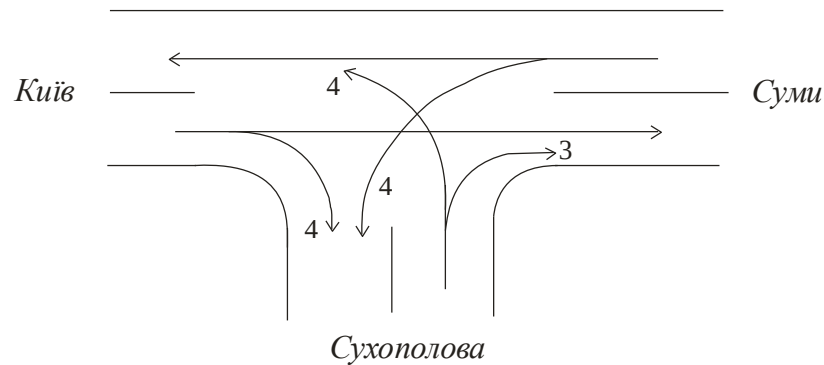


Рисунок Г.23 – Розподіл інтенсивності руху на примиканні автомобільної дороги від населеного пункту Сухополова до автомобільної дороги Київ – Суми

1) Розрахунок інтервалів для виконання маневрів на примиканні:

– поворотів ліворуч і праворуч з другорядної дороги на головну:

$$t = \frac{V_1 - V_2}{a};$$

$$V_1 = 79,4 \text{ км/год};$$

$$V_2 = 20 \text{ км/год};$$

$$a = 1,82 \cdot 0,6 + 0,74 \cdot 0,2 + 0,74 \cdot 0,1 + 0,74 \cdot 0,1 = 1,39 \text{ м/с}^2;$$

$$t = \frac{22 - 5,5}{1,39} = 11,9 \text{ с.}$$

2) Розрахунок інтервалу руху автомобілів на головній дорозі:

до розрахунку приймається інтервал

$$T = t_p + t_{\min} = 11,9 + 9,6 = 21,5 \text{ с}$$

3) Розрахунок інтенсивності руху на головній дорозі, що забезпечить безпечний в'їзд автомобілів з другорядної:

$$N = \frac{3600}{21,5} = 168 \text{ авт/год.}$$

4) Розрахунок максимальної інтенсивності руху при в'їзді на головну дорогу Київ – Суми:

На ділянці $K - D$:

$$N_{K-D} = 168 + (168 - 4 - 4) = 328 \text{ авт/год.}$$

На ділянці $D - C$:

$$N_{D-C} = 328 + 4 = 332 \text{ авт/год.}$$

На ділянці $B - K$:

$$N_{B-K} = 328 + 4 = 332 \text{ авт/год.}$$

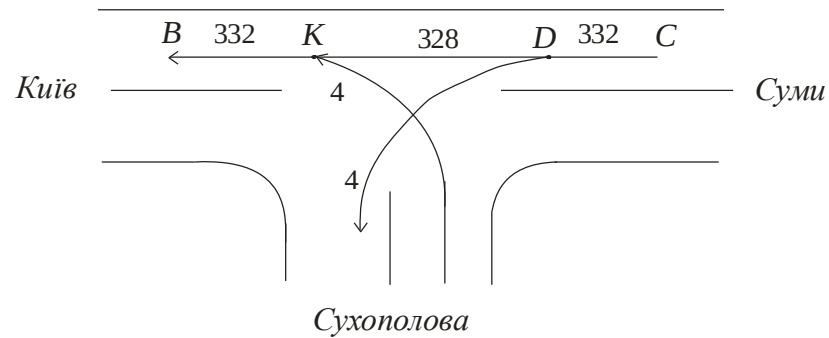


Рисунок Г.24 – Схема інтенсивності руху на примиканні у напрямку Суми – Київ

5) Розрахунок максимальної інтенсивності руху в прямому напрямку Київ – Суми:

На ділянці $M - O$:

$$N_{M-O} = 168 + (168 - 4 - 4 - 4 - 3) = 321 \text{ авт/год.}$$

На ділянці $P - M$:

$$N_{P-M} = 321 + 4 = 325 \text{ авт/год.}$$

На ділянці $O - N$:

$$N_{O-N} = 321 + 3 = 324 \text{ авт/год.}$$

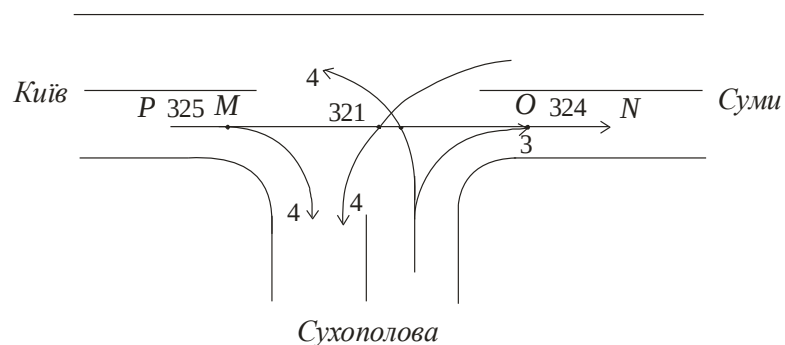


Рисунок Г.25 – Схема інтенсивності руху на примиканні у напрямку Київ – Суми

6) Розрахунок інтенсивності руху на другорядній дорозі $N_C = 4 + 4 + 4 + 3 = 15$ авт/год

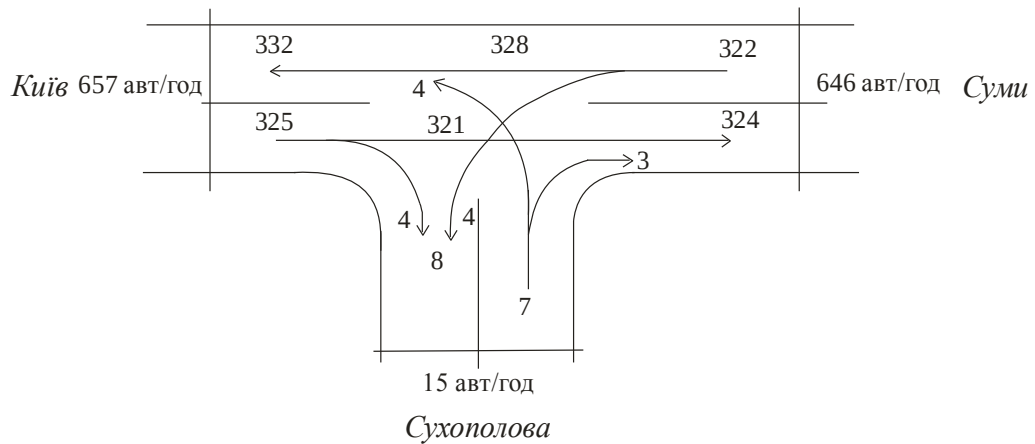


Рисунок Г.26 – Схема інтенсивності руху на примиканні автомобільної дороги від населеного пункту Сухополова до автомобільної дороги Київ – Суми

Розрахунок максимальної інтенсивності руху на примиканні автомобільної дороги від населеного пункту Стрельники до автомобільної дороги Київ –

Суми

Розрахунок максимальної інтенсивності руху на примиканні автомобільної дороги від населеного пункту Стрельники до автомобільної дороги Київ – Суми проводиться аналогічно розрахунку максимальної інтенсивності руху на примиканні автомобільної дороги від населеного пункту Сухополова до автомобільної дороги Київ – Суми.



Рисунок Г.27 – Примикання автомобільної дороги від населеного пункту Стрельники до автомобільної дороги Київ – Суми

Перехрещення автомобільних доріг Київ – Суми та Ніжин – Прилуки



Рисунок Г.28 – Кільцеве перехрещення автомобільних доріг Ніжин – Прилуки та Київ – Суми

Розрахунок максимальної інтенсивності руху на кільцевому перехрещенні автомобільних доріг Ніжин – Прилуки та Київ – Суми виконаний за методом, який розроблено Неізвєстною Н.В. За розрахунком максимальна інтенсивність руху смугою на кільці становить 180 авт/год.

Результат розрахунку максимальної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги III категорії Київ – Суми від перетину з автомобільною дорогою Ніжин – Прилуки до перетину з автомобільною дорогою Ічня – Прилуки на основі удосконаленого методу приведено на рис. Г.29.

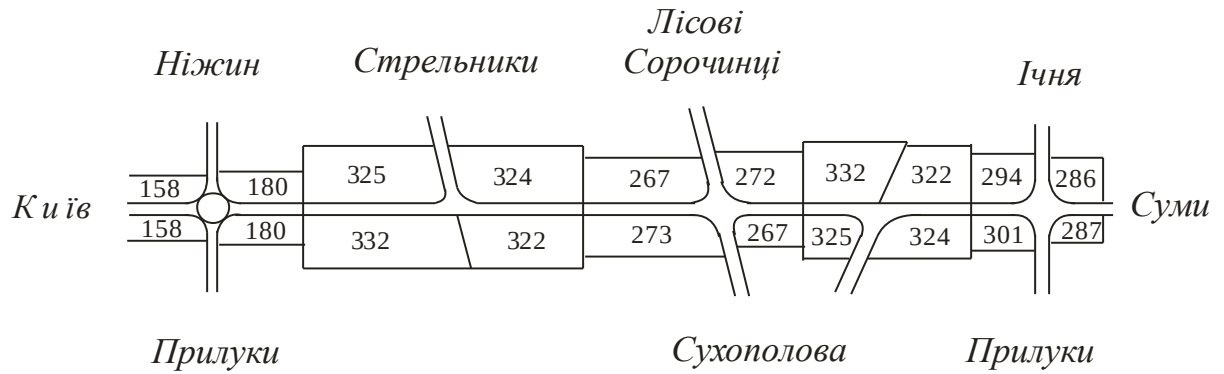


Рисунок Г.29 – Загальна схема максимальної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги Київ – Суми з урахуванням перехрещень та примикань

Висновок до прикладу розрахунку максимальної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги

Основними перехрещеннями на ділянці автомобільної дороги Київ – Суми є перехрещення з автомобільною дорогою Ічня – Прилуки та Ніжин – Прилуки. Максимальна інтенсивність на даний момент складає 360 авт/год або 3600 авт/добу.

При проведенні реконструкції перехрещень та примикань інтенсивність збільшиться до 422 авт/год або 4220 авт/добу. При досягненні такої інтенсивності руху необхідно проектувати розв'язки на цих перехрещеннях у двох рівнях, що збільшить інтенсивність до 640 авт/год або 6400 авт/добу, що відповідає $640/750=0,85$ або 85% забезпечення практичної пропускної здатності. При досягненні інтенсивності 640 авт/год планується реконструкція ділянки дороги (перехід до I категорії).

Коефіцієнт завантаження системи на даний момент складає:

$$Q = \frac{360}{750} = 0,48,$$

що відповідає зв'язаному режиму руху (В), де можливі групи з двох або трьох автомобілів.

При виконанні заходів по підвищенню максимальної інтенсивності руху (збільшення смуг руху на кільцевому перехрещенні із дорогою Ніжин – Прилуки, виділенні смуг руху для виконання лівого повороту на перехрещеннях та примиканнях, будівництво перехідно - швидкісних смуг) інтенсивність руху збільшиться до 422 авт/год, а коефіцієнт завантаження системи складе:

$$Q = \frac{N}{P} = \frac{422}{750} = 0,56.$$

Таке значення коефіцієнта завантаження відповідає зв'язаному режиму руху автомобілів (В), де можливі групи автомобілів.

При будівництві дорожніх розв'язок на перехрещеннях з дорогами Ніжин – Прилуки та Ічня – Прилуки у двох рівнях інтенсивність руху збільшиться до 640 авт/год, а коефіцієнт завантаження системи при цьому складе:

$$Q = \frac{N}{P} = \frac{640}{750} = 0,85.$$

В цьому випадку режим руху буде щільним, що не допускає збільшення інтенсивності руху.

Отже, інтенсивність 640 авт/год або 6400 авт/добу буде граничною і після її досягнення ділянка дороги потребує збільшення смуг руху (переведення у першу категорію).

У додатку Г для порівняння наведено приклад розрахунку максимальної інтенсивності руху на перехрещенні автомобільних доріг Київ – Суми та Ічня – Прилуки з віднесеними лівими поворотами без збільшення смуг руху та із збільшенням смуг руху на головній дорозі в межах розв'язки.

Таблиця Г.3 – Заходи по підвищенню максимальної інтенсивності руху розглянутої ділянки автомобільної дороги Київ – Суми

№п/п	Перехрещення та примикання на ділянці автомобільної дороги Київ-Суми	Заходи при зростанні інтенсивності		
		до 3100 авт/добу	3100-6000 авт/добу	від 6000 авт/добу
1	Перехрещення з а/д Ніжин - Прилуки	Заходи не перебачаються	Влаштування додаткової смуги на кільці	Влаштування розв'язки в різних рівнях
2	Примикання а/д від с. Стрельники	Заходи не перебачаються	Заходи не перебачаються	Влаштування перехідно-швидкісних смуг
3	Перехрещення з а/д Лісові Сорочинці - Сухополова	Заходи не перебачаються	Заходи не перебачаються	Влаштування перехідно-швидкісних смуг
4	Примикання а/д від с. Сухополова	Заходи не перебачаються	Заходи не перебачаються	Влаштування перехідно-швидкісних смуг
5	Перехрещення з а/д Ічня-Прилуки	Заходи не перебачаються	Заходи не перебачаються	Влаштування розв'язки в різних рівнях

На основі розроблених заходів із підвищення максимальної інтенсивності руху відповідно представленої методики проведені розрахунки по визначенню періоду ефективного функціонування даної ділянки автомобільної дороги.

У роботі представлено два варіанти покращення умов руху на розглянутій ділянці автомобільної дороги довжиною 9,5 км, які включають в себе заходи з:

- підвищення максимальної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги із визначенням терміну функціонування її в конкретних дорожніх умовах;

- підвищення продуктивності роботи ділянки автомобільної дороги при наявності радіусів горизонтальних кривих до 600 м та поздовжніх похилів більше 20‰

В першому випадку розглядаються варіанти і послідовність виконання заходів із підвищення максимальної інтенсивності руху за рахунок зміни параметрів перехресть та примикань:

- будівництво перехідно-швидкісних смуг;
- будівництво допоміжної смуги руху для виконання повороту ліворуч з головної дороги на другорядну;
- будівництво віднесених з'їздів для виконання поворотів ліворуч;
- влаштування горизонтальних кривих на з'їздах кривими змінного радіусу.

На основі прикладу розрахунку максимальної інтенсивності руху на ділянці автомобільної дороги Київ – Суми встановлено максимальну інтенсивність руху після зміни параметрів перехресть та примикань.

На момент дослідження інтенсивність руху на цій ділянці автомобільної дороги складала 2100 авт/добу із коефіцієнтом щорічного приросту інтенсивності 0,05.

Реконструкція цієї ділянки автомобільної дороги планується у 2021 році по досягненні інтенсивності руху 3100 авт/добу. Вартість реконструкції складає 36,9 млн. грн./км.

За розрахунками відповідно розробленої методики реконструкція даної ділянки автомобільної дороги планується при зростанні інтенсивності руху більше 6000 авт/добу. Такого значення інтенсивність руху досягне в 2036 році. А при зростанні інтенсивності руху до 3100 авт./добу достатньо проведення капітального ремонту, вартість якого становить 19,5 млн.грн/км.

Економія капіталовкладень у 2021 році складає 17,4 млн.грн/км або 165,3 млн.грн по всій ділянці автомобільної дороги.

В даному випадку функціонування ділянки автомобільної дороги продовжується на 14 років без зміни рівня обслуговування (без зміни умов

руху). Зміна параметрів перехресть та примикань виконується за рахунок першого капітального ремонту (середній ремонт) і не потребує допоміжних витрат.

У другому варіанті розглядається можливість підвищення продуктивності роботи автомобільної дороги за рахунок зміни радіусів горизонтальних кривих та поздовжніх похилів. В цьому випадку використовується методика соціально-економічного обґрунтування реконструкції та капітального ремонту окремих ділянок автомобільних доріг. Дана методика враховує зміну швидкості руху автомобілів після збільшення радіуса горизонтальної кривої або зменшення поздовжнього похилу, за рахунок чого можливо зменшити транспортні витрати. На даній ділянці дороги відсутні горизонтальні криві малого радіусу та круті поздовжні похили. При їх наявності розрахунки проводяться по методиці.

Приклад розрахунку максимальної інтенсивності руху на перехрещенні з віднесеними з'їздами для виконання повороту ліворуч

Розрахунок максимальної інтенсивності руху при віднесених з'їздах для виконання повороту ліворуч

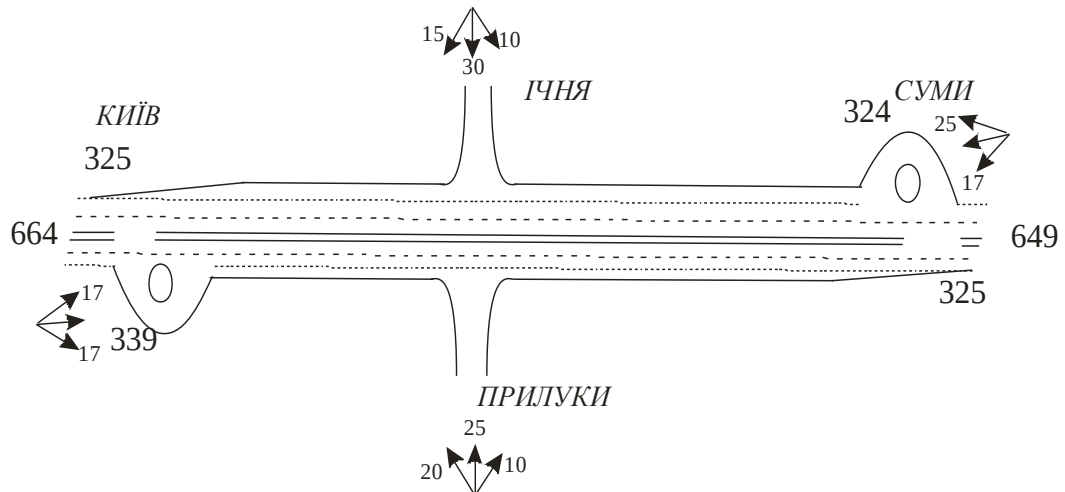


Рисунок Г.30 – Розподіл інтенсивності руху на перехрещенні з віднесеними з'їздами для виконання повороту ліворуч

1. Середня довжина автомобіля:

$$l_{\text{сер}} = 4,5 \cdot 0,6 + 7,0 \cdot 0,2 + 10,5 \cdot 0,1 + 12,0 \cdot 0,1 = 6,35 \text{ м}$$

2. Середня швидкість руху на дорозі Київ – Суми:

$$V_{\text{с}} = 84,3 \cdot 0,6 + 71,9 \cdot 0,2 + 71,5 \cdot 0,1 + 72,9 \cdot 0,1 = 79,4 \text{ км/год.}$$

3. Максимальна інтенсивність руху транспортного потоку на автомобільній дорозі Київ – Суми:

$$N(V = 79,4) = 375 \text{ авт./год.}$$

4. Мінімальний інтервал руху між автомобілями на автомобільній дорозі Київ – Суми:

$$t_{\text{мін}} = \frac{3600}{375} = 9,6 \text{ с}$$

5. Мінімальний інтервал для виконання поворотів ліворуч і праворуч з другорядної дороги (Ічня – Прилуки) на головну дорогу (Київ – Суми) розраховується як:

$$T = t_1 + t_{\min},$$

де t_1 – час для зміни смуги руху;

$$t_1 = \frac{2 \cdot \sqrt{b \cdot R} \cdot 3,6}{V} = \frac{2 \cdot \sqrt{3,5 \cdot 500} \cdot 3,6}{79,4} = 3,8 \text{ с.}$$

$$T = 3,8 + 9,6 = 13,4 \text{ с.}$$

6. Мінімальний інтервал руху при виконанні повороту праворуч з головної (Київ – Суми) на другорядну:

$$T = t_1,$$

де t_1 – час для зміни смуги руху.

$$t_1 = 3,8 \text{ с}$$

7. Мінімальний інтервал руху при виконанні повороту ліворуч з головної (Київ – Суми) на другорядну:

$$T = t_1,$$

де t_1 – час проїзду проїзної частини головної дороги Київ – Суми та довжина автомобіля.

$$t_1 = 4,4 \text{ с}$$

8. Час перетину автомобільної дороги Київ – Суми:

$$T = t_1,$$

$$t_1 = \frac{\sqrt{2 \cdot S \cdot a}}{a} = \frac{\sqrt{2 \cdot (l + l_a) \cdot a}}{a} = \frac{\sqrt{2 \cdot (3,5 + 6,35) \cdot 1,39}}{1,39} = 3,7 \text{ с.}$$

За розрахунковий приймаємо інтервал 19,2 с.

9. Мінімальна інтенсивність руху смугою, яка забезпечує безпечний в'їзд автомобілів на головну дорогу становить:

$$N = \frac{3600}{19,2} = 188 \text{ авт./год.}$$

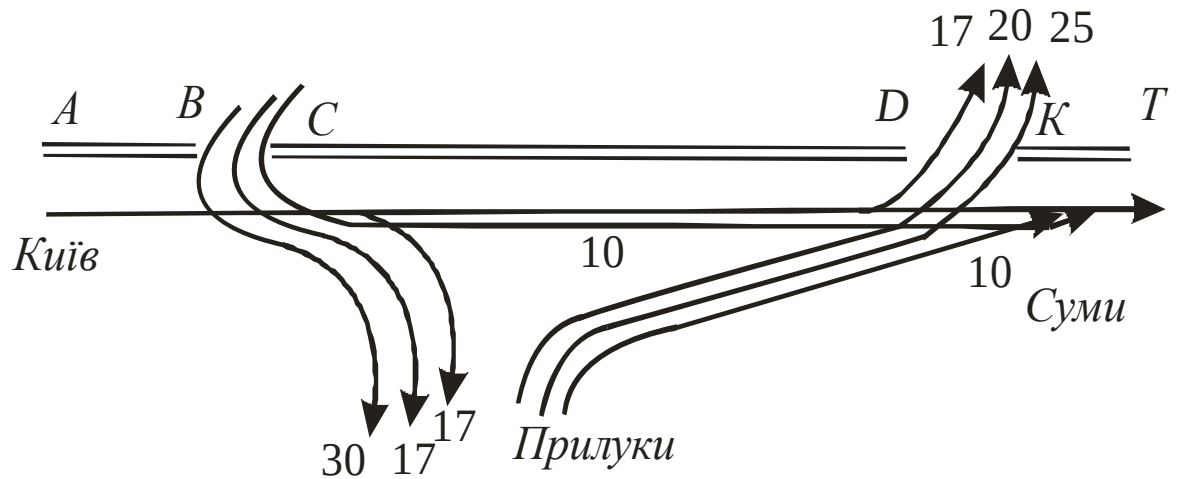


Рисунок Г.31 – Розподіл інтенсивності руху на перехрещенні зі з'їздами для виконання повороту ліворуч по напрямку Київ – Суми

$$N_{AB} = 376 - (71 - 34) = 339 \text{ авт/год};$$

$$N_{CD} = 339 - 34 = 305 \text{ авт/год};$$

$$N_{KT} = 305 + 20 = 325 \text{ авт/год}.$$

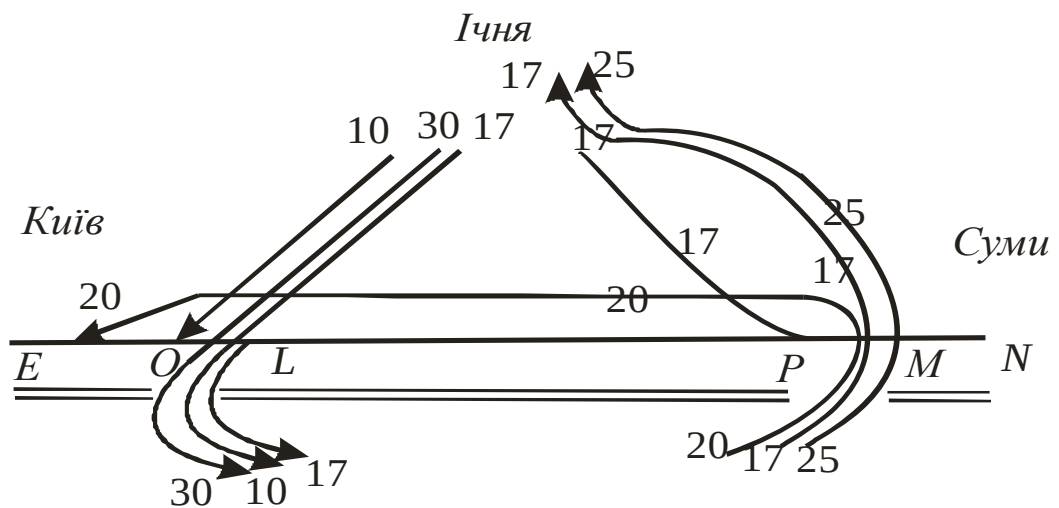


Рисунок Г.32 – Розподіл інтенсивності руху на перехрещенні зі з'їздами для виконання повороту ліворуч по напрямку Суми – Київ

$$N_{MN} = 376 - 52 = 324 \text{ авт/год};$$

$$N_{LP} = 324 - 34 = 290 \text{ авт/год};$$

$$N_{EO} = 290 + 35 = 325 \text{ авт/год}.$$

Коефіцієнт збільшення максимальної інтенсивності руху на перехрещенні зі з'їздами для виконання повороту ліворуч становить:

В напрямку м. Суми:

$$K = \frac{N_{KT} + N_{MN}}{N_{K-C}} = \frac{324 + 325}{470} = \frac{649}{470} = 1,38.$$

В напрямку м. Київ:

$$K = \frac{N_{AB} + N_{EO}}{N_{C-K}} = \frac{325 + 339}{485} = \frac{664}{485} = 1,37.$$

Максимальна інтенсивність руху на перехрещенні зі з'їздами для виконання повороту ліворуч збільшиться в 1,37 рази у порівнянні з каналізованим перехрещенням.

**Приклад розрахунку максимальної інтенсивності руху при збільшенні
смуг руху в районі дорожньої розв'язки при улаштуванні віднесених
з'їздів для виконання повороту ліворуч**

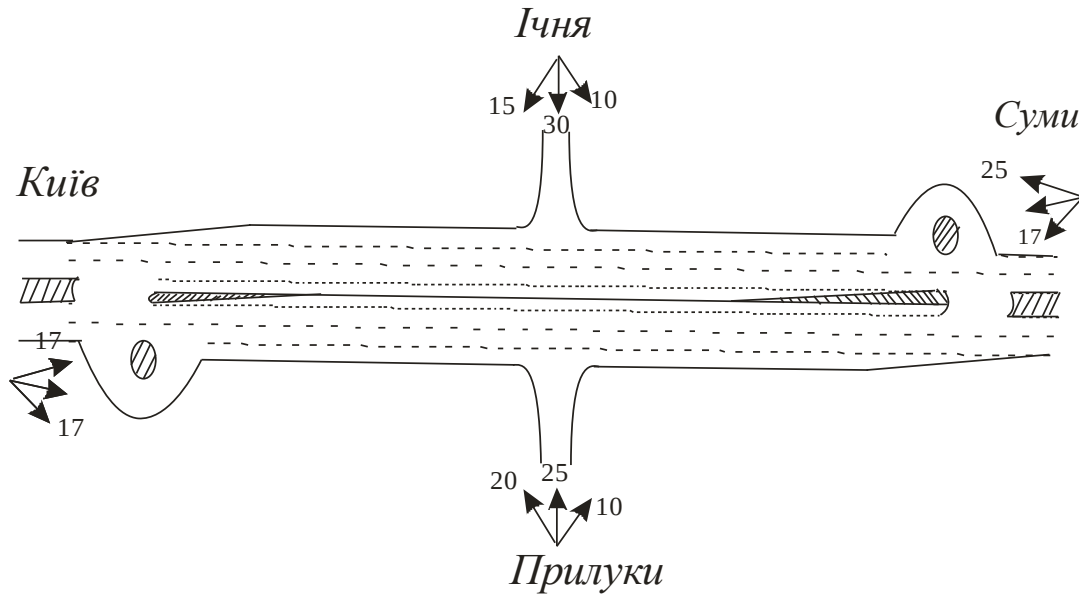


Рисунок Г.33 – Розподіл інтенсивності руху на перехрещенні зі з'їздами для виконання повороту ліворуч

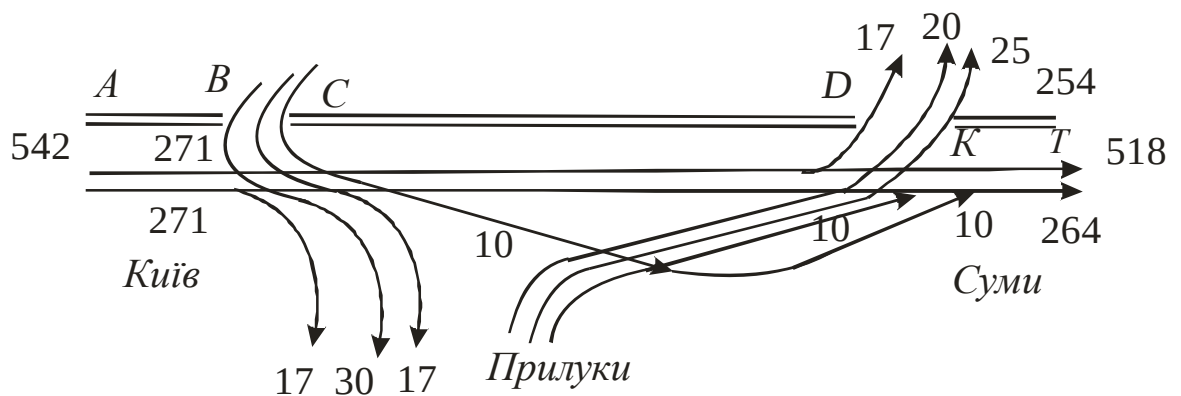


Рисунок Г.34 – Розподіл інтенсивності руху на перехрещенні зі з'їздами для виконання повороту ліворуч по напрямку Київ – Суми

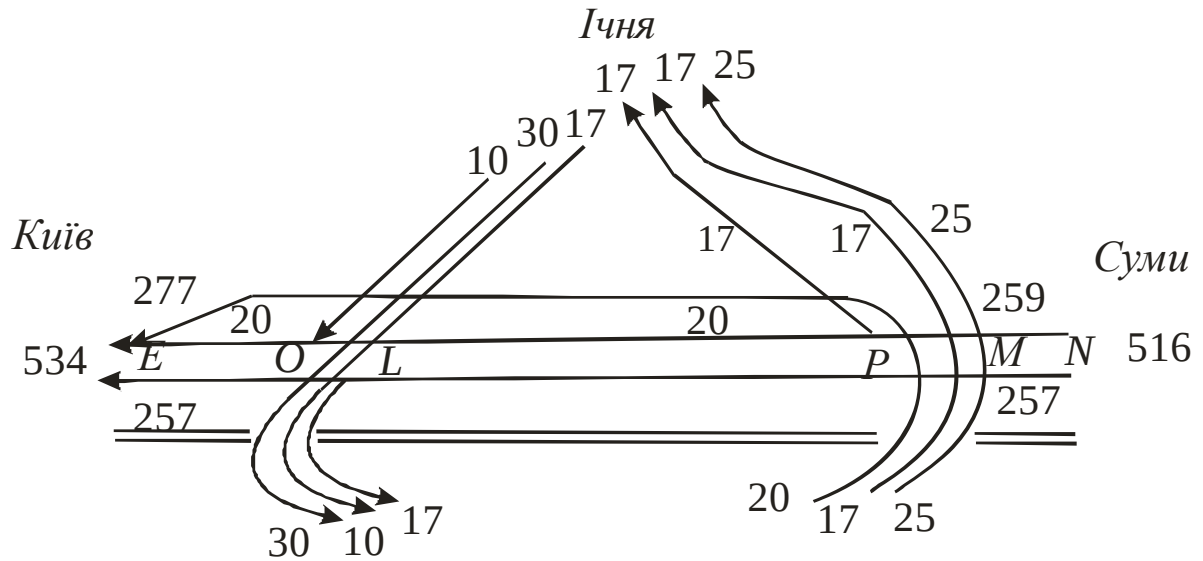


Рисунок Г.35 – Розподіл інтенсивності руху на перехрещенні зі з'їздами для виконання повороту ліворуч по напрямку Суми – Київ

Коефіцієнт збільшення максимальної інтенсивності руху на перехрещенні зі з'їздами для виконання повороту ліворуч та додатковою смугою руху на перехрещенні становить:

В напрямку м. Суми:

$$K = \frac{N_{KT} + N_{MN}}{N_{K-C}} = \frac{518 + 516}{470} = \frac{1034}{470} = 2,2$$

В напрямку м. Київ:

$$K = \frac{N_{AB} + N_{EO}}{N_{C-K}} = \frac{542 + 534}{485} = \frac{1076}{485} = 2,2$$

Максимальна інтенсивність руху на перехрещенні з віднесеними лівими поворотами та додатковою смугою руху збільшиться в 2,2 рази в порівнянні з каналізованим перехрещенням.

ДОДАТОК Д
ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ ТА СВІДОЦТВО ПРО РЕЄСТРАЦІЮ
АВТОРСЬКОГО ПРАВА



ДОВІДКА
про впровадження наукових розробок
Додух Катерини Михайлівни

Даною довідкою підтверджується, що результати дисертаційної роботи асистента кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою Національного транспортного університету Додух К.М. було впроваджено в Державному агентстві автомобільних доріг України при виконанні науково-дослідної роботи за темою «Розробити методику визначення рівня завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг» (договір від 28.10.2009 № 136-09, № державної реєстрації 0109U008510), яка передбачала розроблення М 218-02070915-674:2010 «Методика визначення рівня завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг».

Розробки асистента Додух К.М. знайшли відображення в цьому документі в розділі 2 «Методика визначення рівня завантаженості та пропускної здатності автомобільних доріг».

Вищезазначена методика знайшла практичне застосування в проектних та наукових підприємствах для визначення рівня завантаженості та пропускної здатності при розробці проектів реконструкції та капітального ремонту автомобільних доріг загального користування, організації дорожнього руху на них.

Начальник Відділу інноваційного
розвитку та кошторисного ціноутворення

Анатолій Цинка



Довідка

Цією довідкою засвідчується, що результати дослідження, які відображені у кандидатській дисертації асистента кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою НТУ Додух К.М. «Удосконалення методу розрахунку пропускної здатності автомобільних доріг» впроваджуються при оцінці умов руху, визначенні реконструкції окремих ділянок доріг та всієї дороги на мережі автомобільних доріг Чернігівської області (Автомобільні дороги : Т-25-37 Ріпки – Любеч, Т-25-36 Корюківка – Сахутівка – Мена, Т-25-35 Семенівка – Архипівка – Костобобрів – Чайкине – а/д Р-12). Економічна ефективність даної роботи буде визначена після впровадження результатів наукових досліджень за даною темою у виробництво.

Перший заступник начальника
Служби автомобільних доріг
у Чернігівській області



Г.О. Решетник

УКРАЇНА



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ

СВІДОЦТВО
про реєстрацію авторського права на твір

№ 60907

Стаття "Розрахунок практичної пропускну́ї здатності емути руху автомобільної дороги"

(вид, назва службового твору)

Автор(и) Додух Катерина Михайлівна

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 28.07.2015

Голова Державної служби інтелектуальної власності України
А.Г.Жарінова





**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ**
Україна, 03680, МСП, м. Київ-35,
вул. Урицького, 45
Тел. (044) 494-06-06
Факс (044) 494-06-67
E-mail: post@sips.gov.ua



**STATE INTELLECTUAL
PROPERTY SERVICE
OF UKRAINE**
Ukraine, 03680, MSP, Kyiv-35,
45, Urytskogo str.
Tel. (044) 494-06-06
Fax (044) 494-06-67
E-mail: post@sips.gov.ua

РІШЕННЯ

ПРО РЕЄСТРАЦІЮ АВТОРСЬКОГО ПРАВА НА ТВІР

Державна служба інтелектуальної власності розглянула заяву
Національний транспортний університет, вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010

(повне ім'я фізичної або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

заявка від 29.05.2015 № 61315

про реєстрацію авторського права на твір і прийняла рішення зареєструвати авторське
право на службовий твір Стаття "Розрахунок практичної пропускнуої здатності смуги
руху автомобільної дороги"; Додух Катерина Михайлівна; Національний транспортний
університет

(вид, повна, скорочена (за наявності) назва твору, повне ім'я, псевдонім (за наявності) автора (ів), повна офіційна назва роботодавця)

Внесення відомостей до Державного реєстру свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір та
видача свідоцтва будуть здійснені за умови сплати збору за оформлення і видачу свідоцтва про
реєстрацію авторського права на твір відповідно до п.3 постанови Кабінету Міністрів України від 27
грудня 2001 року № 1756 "Про державну реєстрацію авторського права і договорів, які стосуються права
на твір".

Якщо протягом трьох місяців від дати одержання заявником рішення про реєстрацію авторського
права на твір Державна служба не одержала документ про сплату збору за оформлення і видачу
свідоцтва у розмірі та порядку, визначених законодавством, або копію документа, що підтверджує право
на звільнення від сплати зазначеного збору, заявка вважається відхиленою і реєстрація авторського
права та публікація відомостей про реєстрацію Державною службою не проводиться.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності



А.Г. Жарінова

А.Г. Жарінова



ЗГІДНО
ОРИГІНАЛ

ДОДАТОК Е

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОСТІ ПРО АПОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз

1. Додух К., Пальчик А. Практическая пропускная способность полосы движения автомобильной дороги // Modern management review. Rzeszow: Politechnika Rzeszowska, 2015. № 22 (1/2015), С. 155-171. (p-ISSN 2300-6366, e-ISSN 2353-0758)

Статті у наукових фахових виданнях

2. Додух К.М. Пропускна здатність перехрещень автомобільних доріг в одному рівні // Проблеми транспорту: збірник наукових праць К.: НТУ, 2010. Вип. 7. С. 101 – 105.

3. Додух К.М., Шостак С.М. Інформаційне забезпечення водіїв в складних дорожніх умовах // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво.К.:НТУ, 2013. Вип. 90. С. 218-221.

4. Додух К.М. Практична пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги // Вісник Національного транспортного університету. К. : НТУ, 2013. Вип.28. С. 164-169.

5. Додух К.М., Пальчик А.М. Неізнана Н.В. Практична пропускна здатність автомобільних доріг // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. К. : НТУ, 2014. Вип. 91. С. 12-17.

6. Додух К.М., Неізнана Н.В. Розробка заходів із покращення умов руху на автомобільних дорогах // Автошляховик України, 2014. № 5 (241). С.26-29.

Опубліковані праці апробаційного характеру

7. Додух К.М., Пальчик А.М. Неізнана Н.В. Пропускна здатність автомобільних доріг. *Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів* : матер. Міжн. наук.-техн. конф. (Харків, жовтень 2010). Харків: ХНАДУ, 2010. С. 38 – 43.

8. Додух К.М., Пальчик А.М. Пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги. *Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг та аеродромів* : матер. Міжн. наук.-техн. конф. (Харків, 01-04.11.2012). Харків: ХНАДУ, 2012. С. 213 – 215.

9. Додух К.М. Пропускна здатність примикань автомобільних доріг в одному рівні . *Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг та аеродромів* : матер. Міжн. наук.-техн. конф. (Харків, 01-04.11.2012). Харків: ХНАДУ, 2012. С. 120 – 123.

10. Додух К.М., Пальчик А.М. Практична пропускна здатність. *Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики* : 15-та Міжн. наук.-практ. конф. (Київ, жовтень 2013). Київ: НТУ, 2013. С. 158 – 160.

11. Додух К.М. Практична пропускна здатність смуги руху автомобільної дороги. *International Scientific and Practical Internet Conference. World Science* : матер. Міжн. наук.-практ. інтернет-конф. (22-24.09.2014). Dubai, UAE. 2014. С. 38-41.

Свідцтво про реєстрацію авторського права на твір

12. Свідцтво про реєстрацію авторського права на науковий твір № 60907 «Розрахунок практичної пропускної здатності смуги руху автомобільної дороги» / Додух К.М., заявлено 29.05.2015 № 61315; зареєстровано 28.07.2015