

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Бу Дик Мінь

УДК 656.051

ДИСЕРТАЦІЯ

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ
В ТРАНСПОРТНИХ РАЙОНАХ МІСТА**

275 – Транспортні технології (за видами)

27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії


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

 Бу Дик Мінь

Науковий керівник Горбачов Петро Федорович, д.т.н., професор

Усі приклади дисертації ідентичні за змістом.

*Гордба спеціалізованої ради
ДФ 64.059.002*

 / *Модина Абрама* /

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Бу Дик Мінь. Підвищення ефективності організації дорожнього руху в транспортних районах міста. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 – Транспортні технології (за видами). – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, МОН України, Харків, 2021.

Дисертаційна робота присвячена рішенням науково-прикладної задачі оцінки впливу складних міських умов руху на швидкість легкових автомобілів і встановленню закономірностей розподілу швидкості цих транспортних засобів на вулично-дорожній мережі міст.

Для цього був проведений аналіз існуючих методів моделювання транспортних потоків і оцінки швидкості руху автомобілів на міській вулично-дорожній мережі, а також їх затримок, пов'язаних з регулюванням дорожнього руху. В результаті було встановлено, що у більшості відомих підходів до прогнозування швидкості руху транспортних засобів її оцінка здійснюється на рівні середніх значень в точці або на ділянці проїзної частини у будь-яких умовах руху транспорту. Така ж ситуація властива і сучасним програмним продуктам для аналітичного моделювання транспортних потоків, хоча очевидним є той факт, що значення швидкості транспортного засобу в конкретному місці і в конкретний момент часу є випадковим. На додаток до цього, в міських умовах швидкість виявляється схильною до впливу перехресть, особливо регульованих, а також інших перешкод, що знижують швидкість руху транспорту. Це вказало на потребу у вивченні швидкості в місті як випадкової величини і, відповідно, встановлення закону її розподілу.

Одним з джерел даних для подібного вивчення швидкості стало макромоделювання транспортних потоків на відносно невеликих, але навантажених об'єктах – вулично-дорожніх мережах центральних частин міст Харкова і Ханоя. З метою найбільш адекватного відбиття швидкості транспортних потоків між об'єктами тяжіння, розташованими вздовж центральних міських вулиць, був розроблений новий підхід до розподілу потоків транспортних засобів на основі їх затримок на пе-

рехрестях. Цей підхід дозволив точніше відбити характеристики транспортних потоків у порівнянні з існуючим найбільш поширеним способом розподілу потоків – на основі пропускної спроможності ділянок вулично-дорожньої мережі, у тому числі врахувати в швидкості проїзду між об'єктами тяжіння затримки індивідуального транспорту на регульованих перехрестях. Моделювання транспортних потоків і порівняльна оцінка згаданих альтернативних варіантів їх розподілу в місті були виконані в програмному продукті PTV[®] VISUM, оскільки він надає інструменти, що найбільшою мірою розкривають особливості кожного способу проведення розрахунків. При цьому порівняння альтернативних підходів на прикладі моделей реальних вулично-дорожніх мереж забезпечило можливість зіставлення розрахункових інтенсивностей транспортних потоків з їх фактичними значеннями і максимально наблизило вирішувану наукову задачу до проблем, що виникають в практичних завданнях моделювання.

Подальше вивчення швидкості як випадкової величини дозволило встановити, що в найскладніших умовах руху нормальний розподіл швидкості легкових автомобілів трансформується в показниковий. Як зв'язуюча ланка при трансформації нормального розподілу в показниковий при істотному ускладненні умов руху виступив гамма-розподіл, оскільки показниковий розподіл є його окремим випадком з параметром форми, рівним 1, а нормальний – граничним гамма-розподілом з параметром форми, що прямує до нескінченності.

Експериментальне підтвердження можливості використання гамма-розподілу було отримане при дослідженні швидкості легкових автомобілів, схильної до впливу звуження проїзної частини. Цей вид ускладнення умов руху можна рахувати свого роду переходом від умов вільного потоку до ускладнень, що створюються регульованими перехрестями. Він призводить до зниження швидкості автомобілів, проте не є крайньою ситуацією з точки зору міри зниження швидкості, оскільки не вимагає обов'язкової зупинки транспортного засобу – більшості водіїв досить лише знизити швидкість без повної зупинки.

Що стосується перевірки можливості використання показникового розподілу для опису швидкості при істотному ускладненні умов руху, то ця гіпотеза була під-

тверджена в ході спостережень в найбільш складних з точки зору швидкості умовах – в зоні впливу регульованих перехресть. Ділянка транспортної мережі перед стоп-лінією регульованого перехрестя надає завідомо гірші умови проїзду, ніж звуження проїзної частини автомобільної дороги, оскільки змушує частину водіїв повністю зупинитися і простоювати деякий час.

При дослідженні швидкості автомобілів перед стоп-лінією перехрестя виникла необхідність врахування їх можливих простоїв на заборонний сигнал світлофора. Для врахування простоїв в значеннях швидкості була розроблена нова методика її замірів, згідно з якою швидкість вимірювалася в поперечному перетині вулиці на дистанції 1,5 метри перед стоп-лінією. Таким чином забезпечувалося знаходження корпусу першого автомобіля в черзі, що стоїть перед світлофором, у вибраному перетині. При цьому як дистанція, для якої вимірювався час проїзду, приймалася довжина самого проїжджаючого автомобіля. Для цього фіксувалися два моменти часу – коли вибраний перетин перетинався передньою і задньою точками автомобіля. Також фіксувалася довжина автомобіля – відстань між цими точками.

Аналіз результатів зроблених таким чином замірів дозволив встановити, що регульоване перехрестя помітно ускладнює умови руху в порівнянні з вузькою проїзною частиною. Це знайшло своє відображення в зниженні середньої швидкості автомобілів і зростанні її стандартного відхилення. В сукупності це призводить до зниження параметра форми гамма-розподілу і наближення його до одиниці. За результатами обробки замірів була підтверджена можливість опису випадкової величини швидкості руху легкових автомобілів показниковим розподілом.

Зібрані в ході дослідження значення швидкості автомобілів, отримані в різних умовах і країнах, дозволили отримати регресійну залежність між середньою швидкістю руху і параметром форми гамма-розподілу, придатного для опису закономірностей в значеннях швидкості. Отримана залежність має досить високі прогностичні можливості, про що свідчить множинний коефіцієнт кореляції між незалежною і залежною змінними, рівний 96,3 %.

За результатами проведених досліджень були сформульовані практичні рекомендації по застосуванню встановлених закономірностей в коливаннях швидкості

ті індивідуального транспорту в містах. Так, на основі цих закономірностей була розроблена методика розрахунку прискорень транспортних засобів при їх роз'їзді на сигнал світлофора, що дозволяє рух на регульованому перехресті. Вона дає можливість отримати вихідні дані для оцінки шуму прискорення як міри комфорту і втрат енергії при русі у складі міських транспортних потоків, а також якості організації дорожнього руху. Також була розроблена методика розрахунку об'ємів викидів шкідливих речовин з вихлопними газами легкових автомобілів, яка дає можливість інтервальної оцінки впливу транспортних потоків на навколишнє середовище і надає інструментарій для порівняльного аналізу змін у міських транспортних системах.

Розроблені рекомендації і методики були застосовані при моделюванні транспортних потоків в районі Лонгб'єн міста Ханой і оцінці результатів функціонування мережі в різних умовах. Було розглянуто два варіанти організації дорожнього руху в досліджуваному районі – існуючий і з раціональними світлофорними циклами на усіх регульованих перехрестях району. Ці зміни стосуються найбільш навантаженої частини транспортної мережі, дозволяють оцінити практичну придатність розроблених методик і ефективність запропонованих рекомендацій. При застосуванні пропонованих світлофорних циклів сумарні затримки транспортних засобів на регульованих перехрестях району Лонгб'єн в ранковий період-пік з 7:00 до 9:00 повинні зменшитися на 12,47 %, середня швидкість пересування між об'єктами тяжіння – збільшитися на 0,55 %, викиди шкідливих речовин – зменшитися на 0,56 %, шум прискорення – знизитися на 5,88 %, що підтверджує доцільність використання нових методик для комплексної оцінки ефективності функціонування міських транспортних мереж.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що *вперше*:

- встановлений вплив складних міських умов руху на швидкість легкових автомобілів, що, на відміну від існуючих підходів, дозволило визначити вид розподілу швидкості руху автомобілів у міській вулично-дорожній мережі;
- розроблений новий підхід до оцінки параметрів розподілу швидкості руху легкових автомобілів у містах, який дозволяє отримати їх на основі середнього зна-

чення швидкості i , на відміну від існуючих підходів, повністю охарактеризувати швидкість як випадкову величину із законом розподілу, придатним для її опису.

Отримали подальший розвиток методи оцінки швидкості руху транспортного засобу за рахунок її визначення на основі часу проїзду дистанції, рівній його довжині, що, на відміну від існуючих підходів, дозволяє безпосередньо врахувати в значенні швидкості час простою транспортного засобу на перехресті.

Практичне значення результатів дослідження полягає в розробці методики проведення замірів швидкості руху транспортних засобів перед стоп-лінією міського регульованого перехрестя, підходу до розподілу транспортних потоків у міських вулично-дорожніх мережах на основі затримок транспортних засобів на перехрестях, а також методики оцінки шуму прискорення транспортних засобів при їх роз'їзді на сигнал світлофора, що дозволяє рух.

Ключові слова: закон розподілу швидкості, швидкість автомобіля, регульоване перехрестя, звуження проїзної частини, умови руху, транспортний потік, транспортне моделювання.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Лобашов А.О., Ву Дык Минь. Методика прогнозирования поведения транспортных потоков в городах. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2002. № 18. С. 77–79.

2. Макаричев А.В., Горбачёв П.Ф., Ву Дык Минь, Горбачёва Е.А. Распределение скорости движения автомобилей перед стоп-линией городского регулируемого перекрёстка. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2019. № 85. С. 107–116.

3. Ву Дык Минь, Горбачев П.Ф., Колий А.С., Свичинский С.В. Распределение потоков индивидуального автотранспорта в городских сетях на основе задержек на перекрёстках. *Автомобільний транспорт*. 2020. № 46. С. 47–62.

4. Horbachov P., Vũ Đức Minh, Svichynskiy S., Shtanko I. The Changes in Vehicle Speed Distribution Related to Complicated Traffic Conditions in Cities. *Transport, Ecology – Sustainable Development: Proceedings of the technical and scientific confer-*

ence ECO Varna (Varna, 13-15 May 2021). Varna, 2021. P. 34–43.

5. Ву Дык Минь. Подход к оценке шума ускорения на основе средней скорости движения автомобилей. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2021. № 3(78). С. 27–35.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Ву Дык Минь, Горбачев П.Ф., Колий А.С., Свичинский С.В. Подход к распределению городских транспортных потоков на основе параметров светофорных циклов. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: зб. наук. праць за матеріалами VIII міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (14-15 квітня 2020 р.)*. Вінниця, 2020. С. 98–102.

7. Горбачев П.Ф., Ву Дык Минь, Свичинский С.В. Исследование закономерностей в значениях скорости автомобилей перед стоп-линией регулируемого перекрёстка. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали II Всеукр. наук.-техн. інтернет-конф. (9-11 листопада 2020 р.)*. Рівне, 2020. С. 34–36.

8. Горбачев П.Ф., Ву Дык Минь, Свичинский С.В. Методика замеров скорости движения транспортных средств перед стоп-линией регулируемого перекрёстка. *Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту: матеріали VII міжнар. наук.-техн. конф. (11-13 листопада 2020 р.)*. Кременчук, 2020. С. 86–87.

9. Ву Дык Минь, Свичинский С.В. Влияние городских регулируемых перекрёстков на распределение скорости движения мотоциклов. *Напрями розвитку технологічних систем і логістики в АПВ: матеріали III міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (22 квітня 2021 р.)*. Харків, 2021. С. 96–98.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

10. Новый підхід до побудови жорстких світлофорних циклів для перехресть міських вулиць: свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір / Горбачов П.Ф., Ву Дик Минь, Шевченко В.В. (Україна). № 88689; зареєстровано 20.05.2019.

11. Іванов І., Ву Дик Минь, Свичинський С. Особливості планування вибіркового обстеження мобільності в місті. *Інноваційні технології розвитку машинобуду-*

вання та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали Всеукр. наук.-техн. інтернет-конф. (28-29 листопада 2019 р.). Рівне, 2019. С. 53–55.

12. Горбачов П.Ф., Ву Дик Мінь, І.І. Штанько. Закономірності розподілу швидкості руху транспортних засобів на міських вулицях. *Сучасні інформаційні системи*. 2020. № 4(2). С. 163–169.

ABSTRACT

Vũ Đức Minh. Improvement of traffic management efficiency in transport zones of a city. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for obtaining the degree of doctor of philosophy in the specialty 275 – Transport Technologies (by types). – Kharkiv National Automobile and Highway University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of the applied scientific problem of the estimation of the influence of complicated traffic conditions on vehicle speed and determination of the distribution of the vehicle speed on urban street networks.

To solve the problem, the existing methods to model transport flows and estimate vehicle speed on an urban street network as well as estimate vehicle delays caused by traffic management were analysed. It allowed defining that most of the existing approaches to predict vehicle speed implies determining its average value at some point or a short road section in any traffic conditions. The same approach is applied in modern transport modelling software, but it is obvious that the speed of a vehicle at a specific place and time is random. In addition, vehicle speed in urban traffic conditions is influenced by the intersections, especially signalized ones, and other obstructions of traffic causing speed decreasing. It points to the need for the study of vehicle speed in a city as the random variable and, correspondingly, the determination of its distribution law.

One of the data sources for this speed study was the traffic flows macro-modelling for relatively small but loaded areas which are the road networks in the centres of Kharkiv and Hanoi. To adequately represent the speed of traffic flows between the transport attractors located along the streets in the city centres, a new approach to traffic

assignment based on vehicle delays at intersections was developed. This approach made it possible to represent traffic flow parameters more precisely compared to the existing most widespread traffic assignment method based on the road network link capacities and take into account private transport delays at signalized intersections during estimation of the travel speed between transport attractors. Modelling of the traffic flows and a comparative assessment of the mentioned urban traffic assignment methods was carried out in the PTV[®] VISUM software since it provides tools that best reveal the features of each calculation method. At the same time, the comparison of alternative methods with the use of the real transport models provided the possibility to compare calculated traffic volumes with actual ones and brought the scientific problem under the study close to the problems arising in modelling practice.

Further study of the speed as a random variable made it possible to define that under the most difficult driving conditions, normal vehicle speed distribution changes to an exponential one. The gamma distribution was used as a connecting link in the transformation of the normal distribution into an exponential one under traffic conditions complication since the exponential distribution is the special case of gamma distribution with the shape parameter equal to 1, and the normal distribution is the limiting case of gamma distribution with the shape parameter tending to infinity.

To experimentally confirm the possibility of the use of the gamma distribution, the car speed influenced by the narrow carriageway was studied. This type of traffic conditions complication can be considered a kind of transition from a free flow to the complicated conditions caused by signalized intersections. It leads to a decrease in vehicle speed. However, it is not an extreme case of speed decreasing since it does not require a mandatory full stop of a vehicle— most drivers only need to reduce the speed without a full stop.

As for testing the possibility to use the exponential distribution when describing the speed under a significant traffic conditions complication, this hypothesis was confirmed during observations in the most difficult conditions in terms of speed – in the zones of influence of signalized intersections. The zone before the stop-line of signalized intersection causes traffic conditions that are a priori more complicated compared to carriageway

narrowing because at this zone some drivers must stop and wait for the green signal.

During the study of the vehicle speed before the stop line of the intersection, it was necessary to take into account the possible vehicles delays caused by waiting for the green. To take these waiting times into account during the speed measurement, a new methodology was developed. According to this methodology, the speed was measured in the cross-section at 1.5 m before the stop-line. It allowed the body of the first car in a queue to always be in the cross-section during waiting for the green signal. Upon that, the distance for which the time of passing the cross-section was measured was a car length. To make these measurements, two points of time was being recorded – when the considered cross-section was crossed by the front and rear points of a car. Also, a car length was being recorded – it was the distance between these points.

The analysis of measurements made according to the presented methodology allowed defining that the signalized intersection complicates the traffic conditions significantly compared to the narrow carriageway. This was reflected in a decrease in the average vehicle speed and an increase in speed standard deviation. In total, it causes a decrease in the shape parameter of the gamma distribution and, as a result, it tends to one. Based on the processed measurement results, the possibility to describe the random variable of the vehicle speed using an exponential distribution was confirmed.

The data about vehicle speed in urban areas in different countries collected during the research made it possible to obtain the regression model reflecting the relationship between the average speed and the shape parameter of the gamma distribution suitable for describing the regularities in speed values. The obtained model has sufficient predictive capability since the multiple correlation coefficient equals 96.3%.

Based on the research results, practical recommendations to apply defined regularities in the variable of private transport speed in cities were developed. Thus, a method to calculate acceleration noise for the vehicles leaving the signalized intersection on a green signal was developed based on these regularities. It allows obtaining initial data to estimate acceleration noise as a measure of comfort and energy consumption when driving in urban traffic flows as well as traffic management quality. Also, a methodology to calculate the volumes of exhaust emissions from vehicles was developed, and it makes it pos-

sible interval assessment of the environmental impact of traffic flows and provides the tools for a comparative analysis of the changes in urban transport systems.

The developed recommendations and methods were applied during traffic flows modelling for the Long Biên district in Hanoi city and assessing the road network performance under different traffic conditions. Two options of traffic management in the district were considered – the current network state and the state with the rational traffic signal cycles at all signalized intersections in the district. These changes relate to the most loaded part of the road network as well as make it possible to evaluate the practicability of the developed methods and the effectiveness of the proposed recommendations. If the proposed traffic signal cycles are used, then total vehicle delays at signalized intersections in the Long Bien district should decrease by 12.47 %, the average vehicle speed between transport attractors should increase by 0.55 %, exhaust emissions should decrease by 0.56 %, acceleration noise should decrease by 5.88 %. It confirms the feasibility of the use of new methods for a comprehensive assessment of urban transport networks performance.

The scientific novelty of the obtained results is as follows:

- for the first time the influence of complicated urban traffic conditions on the car speed, which allows, in contrast to known approaches, determining the type of car speed distribution for the urban street network is established;
- for the first time a new approach to estimate the parameters of car speed distribution in cities which allows obtaining these parameters based on the average speed and, in contrast to known approaches, characterizes the speed as a random variable with the distribution law suitable for its description is developed.

Methods to estimate the vehicle speed are improved due to determining the speed on the basis of the time for passing the distance equal to vehicle length. It, in contrast to known approaches, makes it possible to directly take into account the vehicle delays at intersections during speed measurements.

The practical significance of the research results consists in the development of the methodology to measure the vehicle speed before the stop line of an urban signalized intersection, the approach to traffic assignment for urban networks based on vehicle delays

at intersections as well as the methodology to estimate acceleration noise for the vehicles leaving the intersection on the green signal.

Keywords: speed distribution, car speed, signalized intersection, narrow carriage-way, traffic conditions, traffic flow, transport modelling.

List of candidate's publications

Scientific papers in which the main scientific results of the thesis are published:

1. Lobashov A.O., Vu Duc Minh. Method to predicting traffic flows behaviour in cities. *Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Highway University*. 2002. № 18. P. 77–79.

2. Makarychev O., Horbachov P., Vũ Đức Minh, Horbachova O. Car speed distribution in front of a stop-line of urban regulated intersection. *Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Highway University*. 2019. № 85. P. 107–116.

3. Vũ Đức Minh, Horbachov P., Koli O., Svichynskyi S. Urban traffic assignment based on signalized intersection delays. *Automobile transport*. 2020. № 46. P. 47–62.

4. Horbachov P., Vũ Đức Minh, Svichynskyi S., Shtanko I. The Changes in Vehicle Speed Distribution Related to Complicated Traffic Conditions in Cities. *Transport, Ecology – Sustainable Development: Proceedings of the technical and scientific conference ECO Varna (Varna, 13-15 May 2021)*. Varna, 2021. P. 34–43.

5. Vũ Đức Minh. Approach to estimating acceleration noise based on average vehicle speed. *Bulletin of Kherson National Technical University*. 2021. № 3(78). P. 27–35.

Scientific works certifying the testing of the dissertation materials:

6. Vũ Đức Minh, Horbachov P., Koli O., Svichynskyi S. An approach to urban traffic assignment based on the parameters of traffic signal cycles. *Problems and prospects of automobile transport: materials of the VIII Int. sc. and pract. internet-conf. (April 14-15, 2020)*. Vinnytsya, 2020. P. 98–102.

7. Horbachov P., Vũ Đức Minh, Svichynskyi S. The research of the distribution of the car speed before the stop-line of signalized intersection. *Innovation technologies for the development of machinery and efficient functioning of transport systems: proceedings of the II All-Ukrainian sc. and tech. internet-conf. (November 9-11, 2020)*. Rivne, 2020. P. 34–36.

8. Horbachov P., Vũ Đức Minh, Svichynskyi S. The methodology for measuring the vehicles' speed before the stop line of a signalized intersection. *Modern tendencies in the development of machinery and transport: materials of the 7-th Int. sc. and tech. conf.* (November 11-13, 2020). Kremenchuk, 2020. P. 86–87.

9. Vũ Đức Minh, Svichynskyi S. The influence of city signalized intersections on the motorbike speed distribution. *The trends in the development of technological systems and logistics in AC: materials of the III Int. sc. and pract. internet-conf.* (April 22, 2021). Kharkiv, 2021. P. 96–98.

Scientific works which additionally reflect the scientific results of the dissertation:

10. New approach to develop static signal cycles for urban street intersections: certificate of the registration of the author rights to the paper / Horbachov P., Vũ Đức Minh, Shevchenko V. (Ukraine). № 88689; registered on 20.05.2019.

11. Ivanov I., Vũ Đức Minh, Svichynskyi S. Features of the design of the sample mobility survey in city. *Innovation technologies for the development of machinery and efficient functioning of transport systems: proceedings of the All-Ukrainian sc. and tech. internet-conf.* (November 28-29, 2019). Rivne, 2019. P. 53–55.

12. Horbachov P., Vũ Đức Minh, Shtanko I. Distribution regularities of motor vehicle speed on city streets. *Modern information systems.* 2020. №. 4(2). P. 163–169.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	16
Вступ	17
Розділ 1 Сучасний стан досліджень характеристик транспортних потоків у містах	22
1.1 Існуючі методи моделювання транспортних потоків на міських дорогах	22
1.2 Аналіз методів оцінки і визначення швидкості руху автомобіля на елементах міської вулично-дорожньої мережі	27
1.3 Існуючі підходи до оцінки затримок транспортних засобів на регульованих перехрестях	37
1.4 Мета і постановка задач дослідження	43
Висновки по першому розділу	47
Розділ 2 Теоретичні основи оцінки впливу регульованих перехресть на швидкість руху автомобілів	49
2.1 Теоретичні основи розподілу транспортних потоків по вулично-дорожній мережі міст з урахуванням впливу регульованих перехресть на швидкість руху ...	49
2.2 Основи оцінки трудності шляхів сполучення у вулично-дорожній мережі при моделюванні швидкості та інтенсивності транспортних потоків	60
2.3 Формалізація процесу зміни швидкості руху автомобіля в зоні впливу регульованого перехрестя	63
Висновки по другому розділу	75
Розділ 3 Експериментальне дослідження характеристик транспортних потоків в зоні впливу регульованих перехресть	78
3.1 Обґрунтування вибору об'єктів та інструментарію експериментальних досліджень	78
3.2 Експериментальне дослідження впливу регульованих перехресть на швидкість руху автомобілів у міській вулично-дорожній мережі	84

3.3 Визначення закономірностей розподілу швидкості руху транспортних засобів у міських умовах.....	89
Висновки по третьому розділу	111
Розділ 4 Розробка практичних рекомендацій щодо застосування закономірностей коливання швидкості автомобілів у містах.....	114
4.1 Розробка методик врахування швидкості руху при прогнозуванні характеристик транспортних потоків у містах.....	115
4.2 Формування транспортної моделі центрального району міста Ханой, Лонгб'єн.....	124
4.3 Оцінка практичної придатності розроблених методик при характеристиці змін умов руху в міській вулично-дорожній мережі	143
Висновки по четвертому розділу	153
Висновки.....	155
Список використаних джерел	157
Додаток А Ймовірнісний розподіл прискорень автомобілів на початку руху черги від стоп-лінії-регульованого перехрестя	169
Додаток Б Характеристика світлофорних циклів, що діють на світлофорних об'єктах у районі Лонгб'єн м. Ханой	175
Додаток В Матриця кореспонденцій для району Лонгб'єн м. Ханой	191
Додаток Г Матриці характеристик пересувань в районі Лонгб'єн м. Ханой.....	192
Додаток Д Акти впровадження результатів дослідження.....	200
Додаток Е Список публікацій за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	204

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АД	–	автомобільна дорога
ЗР	–	закон розподілу випадкової величини
ІТ	–	індивідуальний транспорт
ЛА	–	легковий автомобіль
МК	–	матриця кореспонденцій
ОДР	–	організація дорожнього руху
ООН	–	Організація Об'єднаних Націй
ПЛА	–	приведений легковий автомобіль
ПС	–	пропускна спроможність
РП	–	регульоване перехрестя
ВВ	–	випадкова величина
ШР	–	швидкість руху
СРВ	–	Соціалістична Республіка В'єтнам
ТП	–	транспортний потік
ТР	–	транспортний район
ТЗ	–	транспортний засіб
ВДМ	–	вулично-дорожня мережа
ШП	–	шум прискорення
НСМ	–	Highway Capacity Manual
VD функція		функція Volume-Delay («інтенсивність-затримка»)

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогоднішній день у більшості підходів до прогнозування швидкості руху (ШР) транспортних засобів (ТЗ) її оцінка здійснюється на рівні середніх значень в точці або на ділянці проїзної частини у будь-яких умовах руху транспортного потоку (ТП). Така ж ситуація характерна і для сучасних продуктів для аналітичного моделювання ТП, хоча очевидним є той факт, що значення ШР ТЗ в конкретному місці і в конкретний момент часу є випадковим. Це вказує на потребу вивчення цієї величини як випадкової і, відповідно, встановлення закону її розподілу.

Особливу актуальність завдання визначення закону розподілу (ЗР) ШР набуває для міських територій, де умови руху не можуть вважатися вільними. В першу чергу, до таких слід віднести зони впливу перехрещень міських вулиць в одному рівні, оскільки вони є найпоширенішими об'єктами вулично-дорожньої мережі (ВДМ) після перегонів і створюють найбільші перешкоди для проїзду ТЗ. При цьому коливання швидкості найістотнішим чином впливають на комфорт поїздки і витратну частину транспортних пересувань, в т.ч. витрати енергії на рух. Ці витрати визначають витрату палива і, відповідно, міру дії ТП на навколишнє середовище. В результаті виходить, що для розрахунку об'єму викидів моторизованими ТЗ шкідливих речовин в атмосферу міст знання середньої швидкості недостатньо, оскільки інтенсивність викиду сильно залежить від коливань швидкості руху ТЗ. При цьому важливу роль також грає шум прискорення.

Таким чином, встановлення ЗР швидкості руху ТЗ в різних міських умовах є актуальним завданням, рішення якого створить основу для підвищення достовірності транспортних прогнозів, що формуються за допомогою аналітичних моделей функціонування транспортних систем.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Завдання визначення закономірностей зміни швидкості руху автомобілів у міських умовах відповідає Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року, схва-

леної розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р, Стратегії розвитку транспорту у В'єтнамі до 2020 року з перспективою до 2030 року, затвердженою рішенням прем'єр-міністра Соціалістичної Республіки В'єтнам (СРВ) від 04.03.2014 р. № 318/QD-TTg, Майстер-плану розвитку автомобільного транспорту у В'єтнамі до 2020 року з перспективою до 2030 року зі змінами, затвердженими рішенням прем'єр-міністра СРВ від 25.02.2013 р. № 356/QD-TTg, Майстер-плану розвитку транспорту м. Ханой до 2030 року з перспективою до 2050 року, затвердженому рішенням прем'єр-міністра СРВ від 31.03.2016 р. № 519/QD-TTg, цілям стійкого розвитку транспортних систем, затвердженим резолюцією Генеральної Асамблеї ООН від 25.09.2015 № 70/1 «Перетворення нашого світу : Порядок денний в області стійкого розвитку на період до 2030 року», проекту ООН SD21 «Стійкий розвиток в 21 столітті», а також Стратегії забезпечення безпеки дорожнього руху ООН, що реалізується згідно з резолюцією Генеральної Асамблеї ООН від 02.09.2020 № 74/299 «Підвищення безпеки дорожнього руху у всьому світі».

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є удосконалення підходу до розподілу транспортних потоків в транспортних районах міста. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз існуючих методів оцінки швидкості руху автомобілів і моделей розподілу транспортних потоків у містах;
- розробити підхід до розподілу транспортних потоків з урахуванням впливу регульованих перехресть на швидкість руху автомобілів;
- формалізувати процес зміни швидкості руху автомобіля в зоні впливу регульованого перехрестя;
- провести експериментальні дослідження впливу складних умов руху на швидкість автомобілів у міській вулично-дорожній мережі;
- визначити закономірності розподілу швидкості руху транспортних засобів в складних з точки зору швидкості міських умовах;
- розробити практичні рекомендації по використанню закономірностей коливання швидкості автомобілів в складних з точки зору швидкості міських умовах.

Об'єкт дослідження – процес управління рухом легкових автомобілів в транспортних районах міста.

Предмет дослідження – закономірності зміни швидкості автомобілів в складних міських умовах руху.

Методи дослідження. При визначенні швидкостей руху легкових автомобілів (ЛА) в складних міських умовах, а також прискорень автомобілів при їх роз'їзді на сигнал світлофора, що дозволяє рух на регульованому перехресті, були застосовані спостереження і вимірювання. Закономірності в значеннях швидкості автомобілів були встановлені з використанням методів теорії ймовірності і математичної статистики. Підхід до розподілу транспортних потоків у міських вулично-дорожніх мережах на основі затримок транспортних засобів на перехрестях був розроблений з використанням аналізу, формалізації, гіпотетичного та індуктивного методів. Залежності між середньою швидкістю руху автомобілів і параметром форми гамма-розподілу, придатного для опису ШП, а також між середньою ШП і шумом прискорення ЛА були отримані із застосуванням регресійного аналізу. Для оцінки практичної придатності розроблених підходу і методик застосовувалося математичне моделювання в програмі PTV[®] VISUM.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що *вперше*:

- встановлений вплив складних міських умов руху на швидкість легкових автомобілів, що, на відміну від існуючих підходів, дозволило визначити вид розподілу швидкості руху автомобілів у міській вулично-дорожній мережі;
- розроблений новий підхід до оцінки параметрів розподілу швидкості руху легкових автомобілів у містах, який дозволяє отримати їх на основі середнього значення швидкості i , на відміну від існуючих підходів, повністю охарактеризувати швидкість як випадкову величину із законом розподілу, придатним для її опису.

Отримали подальший розвиток методи оцінки швидкості руху транспортного засобу за рахунок її визначення на основі часу проїзду дистанції, рівній його довжині, що, на відміну від існуючих підходів, дозволяє безпосередньо врахувати в значенні швидкості час простою транспортного засобу на перехресті.

Практичне значення результатів дослідження полягає в розробці методики

проведення замірів швидкості руху транспортних засобів перед стоп-лінією міського регульованого перехрестя, підходу до розподілу транспортних потоків у міських вулично-дорожніх мережах на основі затримок транспортних засобів на перехрестях, а також методики визначення шуму прискорення транспортних засобів при їх роз'їзді на сигнал світлофора, що дозволяє рух.

Отримані результати були використані при розрахунку раціональних циклів світлофорного регулювання в районі Лонгб'єн (Long Biên) м. Ханой (В'єтнам) і при навчанні студентів факультету транспортних систем ХНАДУ.

Особистий внесок здобувача. Всі положення та результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримані автором самостійно та наведені у роботах [1-12]. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному: проаналізовано існуючий стан питання моделювання розподілу транспортних потоків [1] та вивчення швидкості руху транспортних засобів у складних міських умовах [2, 4, 12]; розроблено теоретично основи зміни значень ШР при зміні вільних умов руху на ускладнені з точки зору швидкості міські [4]; зроблений аналіз вибірових методів досліджень [11], визначено вплив ширини проїзної частини на швидкість руху та встановлені закономірності її зміни [4]; розроблена методика замірів ШР автомобілів перед стоп-лінією регульованого перехрестя і встановлений закон розподілу отриманих за її допомогою значень швидкостей [2, 7, 8]; зроблений аналіз можливостей сучасного програмного забезпечення для моделювання ТП та розроблений новий підхід до їх розподілу на основі затримок транспортних засобів на перехрестях [3, 6]; отримана регресійна модель, що дозволяє оцінити параметри розподілу ШР ЛА в містах на основі середнього значення швидкості [9, 12]; розроблено методику оцінки шуму прискорення та методику розрахунку обсягів викидів шкідливих речовин легковими автомобілями в містах залежно від середньої швидкості ЛА [5], а також практичні рекомендації щодо підвищення ефективності організації дорожнього руху в районі Лонгб'єн міста Ханой [10].

Апробація результатів дисертації. Матеріали та результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та були схвалені на:

- всеукраїнській науково-технічній інтернет-конференції «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем» (НУВГП, м. Рівне, 2019 р.);
- VIII міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (ВНТУ, м. Вінниця, 2020 р.);
- II всеукраїнській науково-технічній інтернет-конференції «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем» (НУВГП, м. Рівне, 2020 р.);
- VII міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту» (КНУ ім. М. Остроградського, м. Кременчук, 2020 р.);
- III міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Напрями розвитку технологічних систем та логістики в АПК» (ХНТУСГ ім. П. Василенка, м. Харків, 2021 р.);
- XXVII міжнародній науково-технічній конференції «EKO VARNA» (Технічний університет – Варна, м. Варна, 2021).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 12 наукових праць, з яких 4 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у періодичному виданні держави, що входить до Європейського Союзу, 5 тез у збірниках матеріалів вітчизняних та міжнародних конференцій, 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір науково-практичного характеру, 1 стаття у спеціалізованому виданні України, що відповідає профілю дисертації.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Обсяг основного тексту дисертаційної роботи становить 140 сторінок, 34 рисунки та 24 таблиці, 6 додатків на 37 сторінках, список використаних джерел включає 126 найменувань, розміщених на 12 сторінках.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У МІСТАХ

Загальноприйнятим підходом до ухвалення рішень в транспортній сфері нині стало транспортне моделювання, яке реалізується за допомогою спеціального програмного забезпечення і дозволяє оцінити наслідки реалізації альтернативних варіантів розвитку міських систем організації дорожнього руху. Такі програми мають великий функціонал, який дозволяє створювати моделі транспортного попиту, транспортної пропозиції і взаємодії між ними.

Використовувані в транспортному моделюванні функції, що описують зв'язки між елементами транспортних систем, можуть значно відрізнятися між собою з точки зору результатів їх використання. Така різноманітність вимагає глибокого аналізу можливостей різних методів моделювання з метою обґрунтованого вибору найбільш реалістичних з них при проведенні досліджень закономірностей впливу регульованих перехресть (РП) на середню швидкість руху легкових автомобілів у містах.

1.1 Існуючі методи моделювання транспортних потоків на міських дорогах

Розподіл ТП є останнім етапом в загальноприйнятій класичній чотирьохетапній транспортній моделі, покликаний описати попит на послуги транспорту на досліджуваних територіях [13, 14]. В результаті розподілу розробник моделі отримує значення інтенсивностей ТП на елементах транспортної мережі, які використовуються для оцінки точності моделювання і налаштування моделі. На цьому етапі транспортного моделювання часто виникають проблеми, зумовлені недостатньою точністю моделі та потребою її калібрування.

Причини, що викликають розбіжності фактичних і розрахункових інтенсивностей ТП, існують на усіх етапах моделювання, починаючи зі збору вихідних даних, і обумовлені випадковою природою самого транспортного процесу і величин, що його визначають. Проте етап розподілу потоків є найбільш керованим з точки зору можливості впливу на результати моделювання, і методики його виконання вимагають особливої уваги. У загальному випадку їх можна розділити на дві укрупнені групи:

- методики, що передбачають використання моделей розподілу ТП в цілому по вулично-дорожніх мережах;
- методики, що передбачають використання моделей розподілу ТП і опису поведінки (динаміки) ТП на окремих магістралях або перехрестях [15, 16].

Найбільш відомою методикою з першої групи є рівноважний розподіл ТП, заснований на принципах Вардропа, для якого завдання розподілу кореспонденцій по шляхах прямування узагальнено записується у вигляді

$$G_l(\kappa^\dagger) = \min_{o \in J_h} G_o(\kappa^\dagger) = \zeta_h(\kappa^\dagger), \quad (1.1)$$

де $G_l(\kappa^\dagger)$ – витрати учасників руху при прямуванні по дорозі l при завантаженні ВДМ, котре визначається вектором κ^\dagger ;

o – набір шляхів з усіх доступних J_h для реалізації кореспонденції h ;

$\zeta_h(\kappa^\dagger)$ – мінімальні витрати учасників руху по шляхах, наявних для реалізації кореспонденції $h \in H$ (H – набір кореспонденцій, що розглядаються), при завантаженні ВДМ, що визначається вектором κ^\dagger .

При цьому величини потоків κ^\dagger , що задовольняють умові (1.1) відшукуються за допомогою рішення варіаційної нерівності за умови, що для кожної пари «відправлення – прибуття» h задані й зафіксовані значення кореспонденцій:

$$G(\kappa^\dagger) \cdot (\kappa - \kappa^\dagger) \geq 0, \quad \forall \kappa \in K, \quad (1.2)$$

де κ – вектор фактичних значень транспортних потоків, що визначають навантаження на ВДМ;

K – вектор усіх можливих допустимих значень транспортних потоків на ВДМ, $\kappa^\dagger \in K$ [15, 16].

Менш поширеною моделлю, що застосовується в цій групі підходів до розподілу ТП, є модель оптимальних стратегій [15].

Що стосується другої групи методик – тих, котрі передбачають використання моделей, що описують динаміку ТП – то в її межах відомими є такі моделі, як: LW-модель (Lighthill-Whitman model), КК-модель (Kerner-Konhauser model), модель Пригожина, GKT-модель (Gaz-Kinetic Traffic model), моделі слідування за лідером (follow-the-leader models), моделі оптимальної швидкості (наприклад, модель Ньюелла), модель Трайбера (модель розумного водія, Intelligent Driver Model – IDM), моделі клітинних автоматів (наприклад, модель Нагеля-Шрекенберга) [15], модель Танака, модель Уізема, модель Пейна і моделі, використовувані в рамках теорії трьох фаз Кернера [16, 17].

У роботі [18] описується спеціальне програмне забезпечення для вирішення розглядуваного завдання, розроблене американськими вченими. У дисертації [18] автором пропонується власний метод розподілу ТП, заснований на імітації поведінки водіїв. Великий огляд [19] описує більшість відомих підходів до розподілу ТП, що нині використовуються. При цьому, незважаючи на різноманітність підходів в згаданих роботах, розрахунковою основою описаних в них процедур завжди є пропускна спроможність (ПС) ділянок ВДМ.

Більшість існуючих методик використовують для проведення розрахунків ту саму інформаційну основу – ПС ділянок ВДМ. Відрізняються лише стратегії розподілу ТП, що використовуються в них [18-20].

Така постановка завдання є загальноприйнятою, не викликає сумнівів у транспортних інженерів і в останніх дослідженнях, зокрема в роботі [21], її значущість і пріоритетність навіть посилюється. Так, у вказаній роботі виділяються два недоліки методики рівноважного розподілу потоків на основі принципу Вардропа, обумовлених інтеграцією окремих ділянок ВДМ в альтернативні шляхи, і пропонується

отримувати характеристики альтернативних маршрутів, ґрунтуючись на часі проїзду кожної ділянки.

Час проїзду ділянок ВДМ в усіх згаданих роботах визначається залежно від міри їх завантаження, тобто близькості інтенсивності ТП на ділянці до його ПС. При цьому використовуються дуже різні моделі, але відношення інтенсивності ТП на ділянці до його ПС скрізь є носієм інформації для розрахунку часу проїзду ділянки. Головною проблемою такого підходу є недостатній рівень обґрунтування значень ПС однієї смуги руху, з яких формується ПС усієї ділянки.

У одному з найбільш відомих методичних документів по управлінню ТП – Highway Capacity Manual (HCM) 2000 [22] – приводиться таке визначення: «Пропускна спроможність ділянки – це пропускна спроможність найбільш обмеженої точки на ній». І тут же робиться цілком резонне твердження, що якщо на ділянці мережі знаходяться регульовані перехрестя або вона ними закінчується, то ПС ділянки зазвичай визначається РП з найменшою ПС по напрямку цієї ділянки. Далі, в методиці оцінки рівня обслуговування (Level of Service – LoS) індивідуального транспорту (ІТ), що зводиться до визначення середньої ШР по ділянці, робиться наголос на особливому впливі РП, їх кількості і параметрів роботи на швидкість руху ТП по ділянці. Порядок розрахунку ШР на ділянці припускає оцінку часу його вільного подолання і часу затримки автомобілів на РП [22]. Слід зазначити, що документи, подібні HCM 2000 [22-24], розроблені у багатьох країнах, і це дає можливість стверджувати, що вони є основоположними у своїй сфері.

Описаний підхід до визначення рівня обслуговування на міських вулицях охоплює практично усі їх основні типи. Він ніяк не враховує пропускну спроможність смуги руху, а спирається на характеристики РП, які на них знаходяться. Також в ньому передбачається рівна кількість смуг на ділянках мережі і на перехрестях, що відповідає реальним умовам на переважній більшості РП в містах. Недоліком такого підходу при використанні в транспортному моделюванні може вважатися хіба що відносна складність розрахунку затримки ТП на РП при невідомому завантаженні перехрестя.

Поняття ПС ділянки дороги з'являється в [22] тільки у розділі з описом

4-смугових швидкісних магістралей, для яких значення ПС задається рівним 1700 авт./год в одному напрямку і 3200 авт./год для обох напрямків руху. Проте на-вряд чи ці значення можуть служити хорошою основою для встановлення значень ПС однієї смуги руху (850 авт./год) або ділянки в цілому для міських умов. У тому ж керівництві приводяться зафіксовані в ході натурних обстежень фактичні інтенсивності ТП на такому ж типі магістралей, що перевищують 2600 авт./год на одну смугу, тобто такі, котрі більш ніж в три рази перевищують значення, задані як ПС. Таке перевищення ніяк не повинне виникати виходячи з самого поняття ПС як параметра обслуговування, що виконує роль обмеження на максимально можливе значення такої характеристики ТП, як його інтенсивність. В результаті необхідно або уточнювати рекомендовані значення ПС, або уточнювати самé поняття, вводячи додаткові умови її визначення.

Незважаючи на таку невизначеність, більшість існуючих методів розподілу ТП в розрахунках спираються саме на ПС смуги руху або поворотів, а не на характеристики РП. Ця особливість виконання етапу розподілу ТП по ВДМ викликає сумніви у своїй справедливості і при цьому створює резерви для істотного підвищення точності моделювання руху ІТ в містах.

У керівництві до найбільш поширеного у світі програмного забезпечення по моделюванню транспортних мереж PTV[®] VISUM [25] прямо вказується, що час в дорозі для ІТ визначається ступенем насичення відрізків і поворотів, який залежить від інтенсивності руху (traffic volume) і ПС цих об'єктів мережі. Для розрахунку цього часу використовується цілий набір наперед визначених VD функцій (Volume-Delay Functions), що збільшують так званий початковий час проїзду об'єкту мережі при наближенні інтенсивності потоку до ПС. Різниця між ділянками і поворотами полягає в тому, що в PTV[®] VISUM останні не мають такої характеристики, як довжина, а оскільки як початковий час для ділянки приймається час її проїзду у вільних умовах, для розрахунку часу проїзду поворотів як початковий час необхідно призначати якийсь «штраф» (penalty). Ніяких вказівок на можливу величину цього штрафу керівництво до PTV[®] VISUM не дає [25].

В підсумку, PTV[®] VISUM надає дуже великі можливості для реалізації підхо-

дів до розрахунку часу затримок, ґрунтуючись на параметрах як ділянок ВДМ, так і регульованих перехресть. Проте він не дає вказівок до того, який спосіб розрахунку є переважним, і тому основним використовуваним на сьогодні способом оцінки часу проїзду в моделях міських ВДМ є визначення часу проїзду ділянок залежно від інтенсивності ТП на них. При розбіжностях між розрахунковими інтенсивностями ТП та їх реальними значеннями, модель калібрується з використанням параметрів VD функцій для ділянок ВДМ. Така ситуація склалася, мабуть, через більшу простоту присвоєння ділянкам ПС і відсутністю загальнозрозумілого методичного забезпечення для розрахунку часу поїздки на основі затримок на перехрестях.

Обґрунтованість застосування такого підходу в міських умовах викликає серйозні сумніви, що вказує на актуальність завдання вдосконалення існуючих методів моделювання транспортних потоків на міських вулично-дорожніх мережах. Їх розвитком може стати підхід до розподілу ТП на основі оцінки їх затримок на перехрестях. Він вимагає розробки основ його застосування і уважного вивчення його можливостей в порівнянні з існуючим найбільш поширеним розподілом потоків на основі ПС ділянок ВДМ.

При цьому наявність відомого підходу до оцінки рівня обслуговування, описаного у багатьох документах, у тому числі і в НСМ [22], який заснований на визначенні затримок на перехрестях і швидкості руху на ділянках, приводить до висновку про те, що саме ці два параметри можна вважати найбільш важливими, а можливо навіть основними при управлінні транспортними потоками. Це вимагає детального розгляду підходів до визначення кожного з них.

1.2 Аналіз методів оцінки і визначення швидкості руху автомобіля на елементах міської вулично-дорожньої мережі

Швидкість ТЗ є об'єктом уваги багатьох дослідників транспорту і найважливішим показником якості організації дорожнього руху (ОДР), що відбиває як кінце-

вий результат пересування, так і умови його здійснення, наприклад, пропускну спроможність елементів транспортної мережі. При цьому апріорі очевидним є той факт, що значення швидкості руху ТЗ в конкретному місці або в конкретний момент часу є випадковим.

Випадковість швидкості обумовлена впливом на неї занадто великої кількості факторів, щоб їх можна було достовірно передбачити – від манери водіння водія ТЗ, яка сама по собі складається з окремих складно прогнозованих дій (і під якою розуміється індивідуальний характер реакції водіїв на різноманітність можливих транспортних ситуацій) до великої кількості і поведінки інших учасників руху. При цьому основною характеристикою випадкової величини (ВВ) є закон її розподілу – заданий у будь-якій формі взаємозв'язок між значенням ВВ і ймовірністю його появи в серії випробувань [26].

Основні напрацювання з визначення ЗР швидкості руху ТЗ носять експериментальний характер і відносяться до умов досить вільного руху на міжміських автомобільних дорогах (АД). Мета таких досліджень полягає в тому, щоб визначити швидкості, які обирають водії [27]. У такому випадку практично єдиним обмеженням на швидкість є встановлена місцевими правилами дорожнього руху або локальними дорожніми знаками максимально дозволена швидкість на даній ділянці. Основною метою її встановлення є задання загальних тенденцій і раціональних обмежень швидкості, а також забезпечення безпеки дорожнього руху [28-30].

Інші обмеження, викликані такими причинами як рельєф місцевості, повороти автодороги, умови видимості та інші ускладнення процесу руху ТЗ практично завжди нівелюються вибором відповідних ділянки АД і часу проведення спостережень. При цьому максимально дозволена швидкість завжди виявляється досить високою для того, щоб випадки руху з вкрай низькою швидкістю, у декілька разів меншою за максимальну і близькою до нуля, були мало ймовірними, практично нездійсненними подіями.

У таких умовах за допомогою відповідних стаціонарних технічних пристроїв зазвичай визначається моментальна швидкість руху ТЗ в заданому перетині обраної ділянки. Спільність підходів до визначення швидкості руху привела також і до

схожості отриманих результатів, які свідчать про відповідність розподілу швидкості руху ТЗ в перерізі міжміської АД нормальному закону Гауса.

Подібні обстеження охоплюють досить широкий інтервал часу, який стартував з початку 50-х років минулого століття [31] і триває нині. Більше того, кількість таких спостережень останнім часом тільки росте, особливо з початку нинішнього тисячоліття [32, 33]. І вже в роботі [31] нормальний закон приводиться як типовий розподіл моментальної швидкості ТЗ у вільних умовах руху. Подальші дослідження, описані в роботах [13, 34-39], тільки підтвердили ці результати. І хоча тільки в деяких роботах приводиться статистична оцінка ступеня відповідності між емпіричним розподілом швидкості руху ТЗ і теоретичним нормальним розподілом, загальний вигляд приведених в цих роботах графіків не залишає сумнівів в їх близькості до кривої щільності нормального розподілу.

Такі ж результати наводяться і в роботах, присвячених встановленню раціонального обмеження на максимальну швидкість руху, наприклад, в [40]. Цій темі присвячена значна кількість праць, в яких вводиться поняття 85-процентного перцентиля розподілу фактичних швидкостей руху ТЗ як основи для обмеження швидкості руху на конкретній ділянці АД. Цей квантиль також ґрунтується на нормальності розподілу швидкостей.

Нормальний розподіл швидкості внаслідок загальновідомих умов виникнення цілком логічно пояснюється поведінкою водіїв, на яку, безумовно, чинить вплив дуже велика кількість факторів. Результати прийняття людиною тих чи інших рішень піддаються продуктивному вивченню поки що тільки за допомогою статистичного опису, і нормальний розподіл швидкостей руху ТЗ у вільних умовах є тому черговим, хай і непрямим підтвердженням.

Але залишається питання про розподіл швидкостей руху ТЗ в умовах жорсткіших обмежень швидкості, які виникають зазвичай у містах і можуть бути викликані щільним трафіком, перехрещеннями вулиць в одному рівні, доступною водіям шириною проїзної частини, світлофорним регулюванням або іншими причинами. До цілей дослідження ШР в подібних умовах додається ще прогнозування об'єму викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря [41, 42], інтегральна оцінка часу

поїздки в міських мережах і визначення шуму прискорення (Acceleration Noise – AN) [43].

Остання величина часто використовується для оцінки якості і «гладкості» дорожнього руху (рівня транспортного обслуговування), і розраховується як середньоквадратичне відхилення значень прискорень і уповільнень автомобіля протягом певного проміжку часу:

$$AN = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} [\alpha(t)]^2 dt}, \quad (1.3)$$

де $\alpha(t)$ – прискорення ТЗ протягом проміжку часу t ;

τ – загальна тривалість проміжку часу, за який досліджується шум прискорення.

При русі в зоні впливу регульованого перехрестя шум прискорення враховує прискорення і уповільнення автомобілів до «нормальної» швидкості в міських умовах:

$$AN = \sqrt{\frac{\delta^2 \cdot t_{\delta} + \alpha^2 \cdot t_{\alpha}}{t_{\delta} + t_{\alpha}}}, \quad (1.4)$$

де δ – величина уповільнення ТЗ, м/с²;

α – величина прискорення ТЗ, м/с²;

t_{δ} – час уповільнення, $t_{\delta} = \frac{v_{cs}}{\delta}$, с;

v_{cs} – «нормальна» швидкість руху (constant speed) в міських умовах (наприклад, середня швидкість руху ТЗ на ВДМ), м/с;

t_{α} – час уповільнення, $t_{\alpha} = \frac{v_{cs}}{\alpha}$, с.

Графічну інтерпретацію зміни швидкості ТЗ перед РП і величин, використуваних у формулі (1.4), можна представити у вигляді рис. 1.1.

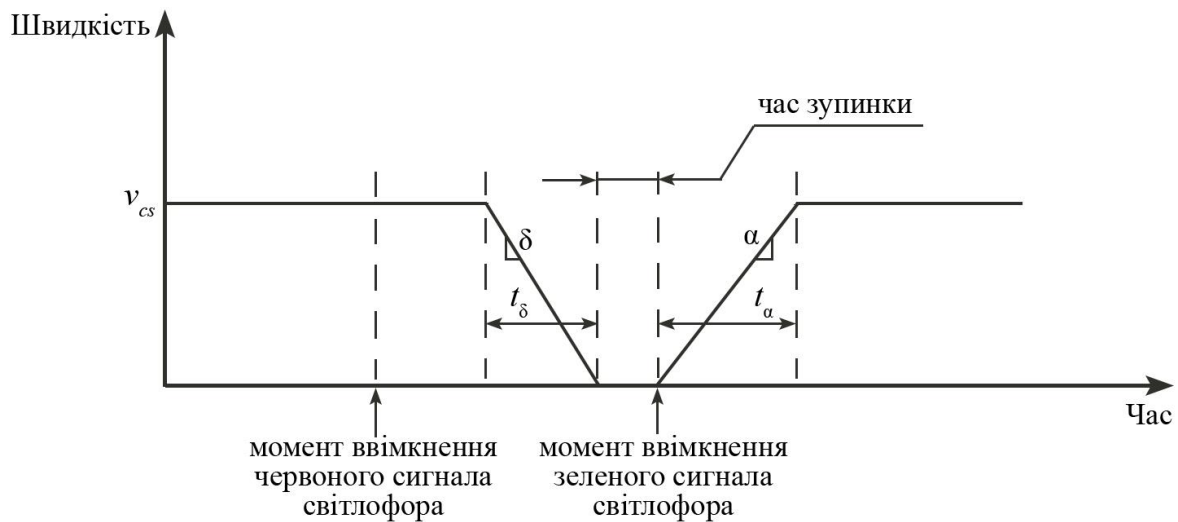


Рисунок 1.1 – Шум прискорення і зміна швидкості руху ТЗ перед РП [43]

Очевидно, що величина AN разом зі ШР є досить важливими при екологічній оцінці впливу транспорту на міське середовище проживання людини, причому в зарубіжній літературі є спроби встановлення взаємозв'язку між шумом прискорення і середньою швидкістю ТП в різних умовах руху [44]. При цьому слід зазначити, що частіше все-таки розглядається залежність витрат палива і кількості викидів шкідливих речовин в атмосферу від швидкості ТЗ. Дослідженню цих залежностей присвячено багато робіт вчених з країн пострадянського простору. Так, в роботах [41, 45-48] представлені залежності витрати палива ТЗ від їх технічних характеристик, характеристик палива, їздових циклів (режимів руху), а також швидкості руху. У [48] також приводиться спосіб розрахунку величини викидів залежно від об'єму витраченого палива. Разом з цим, в роботах [49-52] висвітлюються методи безпосередньої оцінки кількості викидів автотранспортних засобів залежно від умов місцевості, параметрів довкілля і характеристик ТП, у тому числі швидкості.

Впливу швидкісного режиму та їздових циклів на викиди також приділяється увага дослідницьких інститутів та їх об'єднань як на рівні окремих західних країн [53], так і на міжнародному рівні, що підтверджується опрацюванням цього питання експертами Всесвітньої Організації Охорони Здоров'я (ВООЗ) [54] і об'єднання EcoTransIT Initiative [55]. Подібні дослідження знайшли своє відображення також в національних керівництвах по контролю за викидами, публікованих державними

органами по захисту довкілля [56-60]. Дані з подібних керівництв і дозволяють оцінити питомі викиди шкідливих речовин з вихлопними газами залежно від ШР ТЗ [25, 57] чи її обмежень на різних категоріях доріг [25, 56].

Слід зазначити, що представлені в перерахованих джерелах підходи до оцінки величини викидів шкідливих речовин в атмосферу з вихлопними газами ТЗ у своїй більшості засновані на середній швидкості ТЗ і не враховують характеристик розподілу цієї величини. Їх урахування набуває особливої важливості в міських умовах, оскільки в них ШР ТЗ схильна до впливу множини факторів.

Транспортні ситуації, що виникають в містах, часто обмежують простір і час для здійснення маневрів, так само як і скорочують набір можливих маневрів для водіїв. Останнє твердження найбільшою мірою відноситься до вибору саме ШР ТЗ, яка зазвичай знижується при ускладненні умов руху. Проте різна реакція водіїв на складнощі, що виникають в русі, може призводити до росту випадковості ШР, що вимагає дуже уважного відношення до параметрів її розподілу.

Вивченню цих питань присвячено значно менше робіт, частина яких, втім, не відкидають отриманих за межами міст результатів. Це стосується, наприклад, роботи [61], присвяченої вивченню швидкості руху двоколісних транспортних засобів – різного роду мопедів, моторолерів і мотоциклів, які широко використовуються мешканцями східної Азії [61, 62]. Таких робіт значно менше, ніж робіт, присвячених ШР автомобілів, однак вони присвячені вивченню руху двоколісних ТЗ саме в містах. У роботі [61] приводяться графіки щільності ймовірності розподілу ШР мотоциклів в центральній частині Ханоя, столиці В'єтнаму. Спостереження проводилися на перегонах вулиць, і результати досліджень забезпечили візуальну відповідність коливань ШР нормальному закону. Цей факт може бути пояснений істотно меншими вимогами двоколісних ТЗ до дорожнього простору [62], що забезпечує їм більшу свободу руху в міських умовах, проте таке пояснення вимагає перевірки.

Підтвердження існування нормального розподілу швидкості в міських умовах також можна знайти в роботах [63, 64]. Перша з них присвячена дослідженню швидкості руху ТЗ на 17 різних міських артеріальних дорогах в трьох містах Індії – Нью-Делі, Джайпурі і Чандігарсі, друга – дослідженню швидкості руху ТЗ на семи

ділянках внутрішнього дорожнього кільця столиці Індії – Делі.

Проте, разом з нормальністю розподілу швидкості ТЗ, автори роботи [63] відмічають можливість появи бімодальності у розподілі щільності ймовірності швидкості ТЗ, що цілком пояснюється наявністю в транспортному потоці велосипедистів, середня швидкість руху яких набагато нижча за швидкість моторизованих ТЗ. У цій же роботі на графіках щільності ймовірності швидкості ТЗ можна відмітити відхилення моди емпіричного розподілу від теоретичного значення моди нормального розподілу у бік зменшення. Це не привело до статистичного спростування гіпотези про нормальність розподілу швидкості ТЗ, але може свідчити про наявність деяких тенденцій в її зміні у більш обмежених міських умовах. Зробити більш строгі твердження на основі роботи [63] неможливо через недостатньо повний опис умов руху на досліджуваних ділянках АД.

Схожі тенденції спостерігаються в результатах обробки даних про ШР, отриманих в роботі [65] у рамках дослідження пропускної спроможності ВДМ міських районів зі старою забудовою, малими довжинами перегонів, великою кількістю РП і щільними ТП. При тому, що статистична обробка даних не спростовує відповідність отриманих значень швидкості нормальному закону, вид гістограм її емпіричних розподілів на різних ділянках мережі (на перегонах і в зонах РП) дозволяє припускати можливість їх опису теоретичним гамма-розподілом.

Більше уваги умовам руху приділено в роботі [66], в якій дані збиралися на чотирьох двосмугових дорогах – по одній смузі руху в кожному напрямку – в місті Ассам, Індія. Оскільки односмуговий рух створює вже досить серйозні обмеження в русі ТЗ при міській інтенсивності руху, в роботі [66] були отримані дещо інші результати підбору найбільш відповідного розподілу для опису швидкості руху ТЗ. Їм в двох випадках виявився логнормальний і в двох випадках – гамма-розподіл, обидва в трьохпараметричній формі, зі зсувом. Серед протестованих законів також були нормальний, Вейбула зі зсувом і бета-розподіл. Усі закони, окрім нормального, мають зміщену ліворуч від центру вершину кривої щільності ймовірності розподілу, що підтверджує наявність тенденцій, відмічених при аналізі робіт [63, 65].

Викладене вище дозволяє стверджувати, що практично усі дослідження ШР,

проведені в різних країнах і на різних континентах, надають здебільшого графічний опис закономірностей коливання ШР в різних умовах, і тільки іноді – статистичний опис з критеріальною оцінкою відповідності емпіричного розподілу теоретичному закону. Ці результати свідчать про необхідність уважнішого вивчення закономірностей розподілу швидкості в утруднених умовах руху з метою пояснення вказаних тенденцій.

Однією з причин зниження швидкості руху ТЗ по проїзній частині є недостатня ширина смуги руху. Цьому питанню також присвячений ряд досліджень, в яких відзначається вплив ширини смуги руху на швидкість руху і частоту дорожньо-транспортних подій [67, 68], хоча ряд дослідників, як відзначається в роботі [69], заперечують цей зв'язок.

Також не виявили впливу ширини смуги руху на пропускну спроможність дороги автори роботи [70], у якій за допомогою дисперсійного аналізу досліджувалися 60 ділянок швидкісних автомагістралей Шанхаю, Китай. Значущими в аналізі виявилися тільки кількість смуг і ширина узбіччя.

Це приводить до висновку про те, що результати, що вказують на відсутність впливу ширини смуги руху на швидкість руху ТЗ, обумовлені виключно пасивним характером згаданих експериментальних досліджень, в яких умови руху не змінювалися, а приймалися такими, якими вони були на момент проведення вимірів. Цей спосіб, відповідно, не гарантує достатньої амплітуди для діапазону значень ширини смуги руху на існуючих, побудованих відповідно до діючих стандартів, АД.

Зокрема, в роботі [70] ширина смуги коливалася в діапазоні від 2,89 м до 3,86 м. При цьому середня ширина смуги склала 3,50 м, а модальне значення – 3,76 м. Незначна кількість відносно «вузьких» смуг цілком могла привести до недостатнього статистичного впливу ширини смуги на пропускну спроможність дороги в цілому. Що стосується швидкості руху, то автори відмічають в цілому низьку швидкість руху на вибраних ділянках. Це також обумовлює відсутність даного зв'язку в роботі, оскільки зниження швидкості руху, викликане іншими причинами, основною з яких є щільний трафік на дорозі, знижує статистичну значущість ширини проїзної частини в цьому питанні.

В протилежність цьому, в активному експерименті [71], проведеному на симуляторі руху, в якому ширина смуги руху рівномірно змінювалася в діапазоні від 2,85 м до 3,75 м, встановлено, що ширина смуги руху, так само як і її положення на дорозі і ширина узбіч, чинять істотний вплив на поведінку водіїв при управлінні легковим автомобілем з точки зору швидкості руху та інтенсивності відхилень від звичайної траєкторії руху по смузі.

Ці висновки свідчать про необхідність глибшого вивчення закономірностей зміни швидкості ТЗ в утруднених умовах руху. Такі умови створюються як при вже згаданому звуженні проїзної частини, так і в зоні впливу РП, де надаються свідомо гірші з точки зору швидкості умови проїзду в порівнянні з вільним рухом. Причиною подібного погіршення є те, що перед стоп-лінією міського регульованого перехрестя частина автомобілів просто вимушена зупинятися у зв'язку з регулюванням дорожнього руху.

Результатами, найбільш близькими до дослідження швидкості руху в утруднених умовах, є роботи [61, 62, 66], у яких вивчаються закономірності міського руху, і в роботі [66] відзначається близькість емпіричного розподілу швидкості до теоретичного закону гамма-розподілу.

Узагальнюючи наявні в науковій літературі результати вивчення ШР ТЗ, слід звернути увагу на те, що єдиним методом її вивчення стали спостереження за ТП в реальних умовах, і жодне з досліджень не закінчилося отриманням достовірної аналітичної моделі ШР, що означало б остаточне отримання відповідного наукового закону. Відповідно, надалі необхідно обґрунтувати методику вивчення ШР, що враховує особливості її формування в реальних умовах.

У зв'язку з цим також слід розглянути можливі методи визначення ШР. У більшості існуючих робіт проводилися виміри моментальної швидкості автомобіля. Для цього використовувалися різні методи, засновані на використанні:

- радіолокаційних приладів з використанням ефекту Доплера (радары);
- лазерних радарів;
- методу дзеркал;
- датчиків, що використовують різні фізичні явища (мікрохвильові, акустичні,

магнітні, інфрачервоні і т.д.);

- пневматичних трубок на проїзній частині;
- індуктивних петель на проїзній частині;
- відеофіксації руху та ін. [72, 73].

Усі перераховані методи засновані на тому, що прилади вимірюють швидкість за якийсь проміжок часу (наприклад, радар) або на якійсь дистанції (наприклад, пневматичні трубки). Найбільш наближені до моментальної швидкості виміри забезпечують радар за рахунок високої частоти замірів. Проте і тут розрахунки проводяться на основі формули обчислення швидкості v як відношення пройденої об'єктом відстані l до часу її подолання t :

$$v = \frac{l}{t}, \quad (1.5)$$

у якій і чисельник, і знаменник мають певні позитивні значення.

У транспортній літературі також зустрічаються, хоча і набагато рідше, поняття швидкості поїздки і швидкості переміщення [74]. Перша визначається як середня швидкість подолання якоїсь заздалегідь визначеної дистанції, друга – як середня швидкість усього переміщення від пункту відправлення до пункту призначення. Як і моментальна швидкість, вони визначаються по залежності (1.5), тільки пройдена відстань l і час його подолання t тут визначаються не вимірювальним приладом, а потребами учасників руху.

У усіх попередніх дослідженнях велика увага приділялася вибору відповідної ділянки для проведення замірів швидкості. У інструкції [73] прямо вказується на необхідність уникнути зони впливу світлофорів, нерегульованих перехресть, пішохідних переходів та інших причин, що викликають прискорення або уповільнення автомобілів. Очевидно, що ці умови не можуть бути виконані в містах і, тим більше, в їх історичних і ділових центрах, що вказує на необхідність пошуку або розробки нового підходу до оцінки швидкості учасників руху на міській ВДМ.

1.3 Існуючі підходи до оцінки затримок транспортних засобів на регульованих перехрестях

Повертаючись до іншої важливої величини при управлінні транспортними потоками – затримки ТЗ на перехрестях – слід зазначити, що вона досить важлива для оцінки умов руху на міських ВДМ, оскільки відбиває втрати часу водіїв при здійсненні поїздки [75-77]. Природним чином, ці втрати знаходять своє відображення в значеннях ШР, якій було приділено увагу в попередніх підрозділах роботи. Це вказує на можливість розгляду величини затримки як такої, яка багато в чому задає умови руху ТП і впливає на його характеристики [78, 79].

Питанню визначення затримок ТЗ на РП присвячена досить велика кількість робіт, оскільки вони стали об'єктом уваги дослідників ще в 30-40-х роках ХХ століття [80, 81]. Спочатку зусилля вчених та інженерів були спрямовані на отримання математичного опису довжини черги, що виникає перед перехрестям зі світлофорним регулюванням, і дещо пізніше з'явилися перші аналітичні залежності безпосередньо для розрахунку затримки ТЗ, які дають середнє значення цієї величини. До них можна віднести результати досліджень Р. Аллсопа (R. Allsop), Дж. Вардропа (J. Wardrop), К. Вінстена (C. Winsten) і А. Міллера (A. Miller) [82].

Так, Р. Аллсопом була запропонована наступна залежність для розрахунку середньої затримки для умовного (приведеного) легкового автомобіля (passenger car unit – PCU) [83]:

$$t_d = \frac{1}{2 \cdot T \cdot (1 - z)} \cdot \left(r - \frac{1}{2 \cdot s} \right)^2 + \frac{z \cdot (2 - z) + \theta \cdot (1 - z)^2}{12 \cdot q^2}, \quad (1.6)$$

$$-\frac{1}{3 \cdot \sqrt{3}} < \theta < \frac{2}{3 \cdot \sqrt{3}},$$

де t_d – середня затримка одного автомобіля на окремому під'їзді до перехрестя, с;

T – тривалість світлофорного циклу, с;

z – відношення інтенсивності транспортного потоку на смузі руху q до потоку насичення s , $z = \frac{q}{s}$;

q – інтенсивність транспортного потоку в даному напрямку руху, ТЗ/с;

r – тривалість забороняючої фази для вибраного напрямку у світлофорному циклі, с.

У ній перший доданок збігається з оцінкою часу затримки, отриманою свого часу Дж. Вардропом [84].

У припущенні про біноміальний розподіл кількості автомобілів, що прибувають на перехрестя протягом циклу світлофорного регулювання, К. Вінстен розробив наступну залежність для розрахунку затримок на РП:

$$t_d = \frac{R}{(1-q)} \cdot \left(\frac{Q}{q} + \frac{R+1}{2} \right) \cdot a, \quad (1.7)$$

де R – константа, ціле число;

Q – довжина черги з ТЗ перед перехрестям, ТЗ;

a – тривалість періоду, за який аналізується величина.

Спираючись на його дослідження, А. Міллер вивів власну залежність для величини затримки, вважаючи, що довжина черги перед перехрестям знаходиться в статистичній рівновазі і кількість автомобілів, що прибувають до перехрестя за час горіння послідовних червоного і зеленого сигналів світлофора, розподілена незалежно [85, 86]:

$$t_d = \frac{1-\lambda}{2 \cdot (1-\lambda \cdot x)} \cdot \left[T \cdot (1-\lambda) + \frac{(2 \cdot x - 1) \cdot I}{q \cdot (1-x)} + \frac{I + \lambda \cdot x - 1}{s} \right], \quad (1.8)$$

де λ – частка зеленого сигналу для певного напрямку руху у світлофорному

$$\text{циклі } \lambda = \frac{T_p}{T};$$

T_p – тривалість фази, що дозволяє рух для вибраного напрямку руху у світлофорному циклі, с;

x – питома навантаження на смугу руху (ступінь насичення), $x = \frac{q}{\lambda \cdot s}$ або

$$x = \frac{z}{\lambda} = \frac{q \cdot T}{T_p \cdot s};$$

I – відношення дисперсії кількості ТЗ, що прибувають до перехрестя протягом циклу, до середньої кількості ТЗ, що прибувають на перехрестя за той же період часу.

Дещо пізніше Ф. Вебстером (F. Webster) з використанням комп'ютерного імітаційного моделювання і припущення про випадкове прибуття ТЗ до перехрестя, для опису якого застосовувався найпростіший потік подій, була отримана формула для обчислення середньої затримки ТЗ перед РП, яка спрощено [80, 81] записується як

$$t_d = \frac{9}{10} \cdot \left[\frac{T \cdot (1 - \lambda)^2}{2 \cdot (1 - \lambda \cdot x)} + \frac{x^2}{2 \cdot q \cdot (1 - x)} \right]. \quad (1.9)$$

Повний запис цієї формули представляє теоретичний інтерес і тому до неї доцільно повернутися в ході теоретичних досліджень.

Дослідження затримок ТЗ тривають і в поточний час, що привело до відносної різноманітності підходів до оцінки часу затримки. При цьому деякі підходи до такої оцінки відбиті в регулятивних (нормативних) документах національного рівня.

Так, в американському НСМ [22] наводиться наступна аналітична залежність для розрахунку середнього часу затримки ТЗ на РП:

$$\begin{aligned}
t_d = d_1 \cdot k_{cs} + d_2 + d_3 = & \frac{0,5 \cdot T \cdot \left(1 - \frac{T_p}{T}\right)^2}{1 - \min(1, X) \cdot \frac{T_p}{T}} \cdot \frac{(1 - S_3) \cdot k_{zn}}{1 - \frac{T_p}{T}} + \\
& + 900 \cdot \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8 \cdot \xi \cdot \zeta \cdot X}{d \cdot a}} \right] + \frac{1800 \cdot Q \cdot (1 + \psi) \cdot t_{nn}}{d \cdot a},
\end{aligned} \tag{1.10}$$

де d_1 – затримка ТЗ, викликана світлофорним регулюванням і визначена в припущенні про рівномірне прибуття ТЗ на перехрестя, с;

k_{cs} – коригувальний коефіцієнт для встановленого циклу світлофорного регулювання (з урахуванням частки зеленого сигналу у світлофорному циклі);

d_2 – дискретно змінювана затримка (incremental delay), яка враховує ефект випадкового прибуття ТЗ на перехрестя і перенасичення напрямку руху, а також визначається в припущенні про відсутність черги перед перехрестям на початку періоду, для якого оцінюється середня величина t_d , с;

d_3 – затримка, яка виникає за наявності черги довжини Q транспортних засобів перед перехрестям на початку періоду a (вимірюваного в годинах), для якого оцінюється середня величина t_d , с. За відсутності такої черги d_3 приймається рівним 0. За наявності черги треба знати тривалість періоду часу t_{nn} , який був би необхідним для обслуговування незадоволеного попиту (черги перед перехрестям), а також підбирати значення калібрувального параметра (delay parameter) ψ ;

X – ступінь насичення певного напрямку руху (питоме навантаження на групу смуг руху), який визначається як відношення годинної інтенсивності руху на напрямку до його пропускної спроможності;

S_3 – частка ТЗ, що прибувають на перехрестя протягом зеленого сигналу світлофора для обраного напрямку;

k_{zn} – додатковий коригувальний коефіцієнт, що дозволяє врахувати групове прибуття ТЗ на перехрестя;

ξ – калібрувальний параметр, що дозволяє врахувати додаткову затримку,

величина якої залежить від обраного типу світлофорного регулювання і його параметрів (incremental delay factor);

ζ – калібрувальний параметр, що застосовується для врахування характеристик розглянутого підходу до перехрестя (upstream filtering adjustment factor);

d – пропускна спроможність смуг руху на обраному напрямку, ТЗ/год.

У канадському керівництві по основах управління транспортними потоками на регульованих перехрестях (Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections) [23] відмічається його схожість у багатьох аспектах з НСМ, проте робиться акцент на врахуванні деяких відмінностей в застосуванні основ управління рухом і калібруванні моделей розрахунку затримок. В цілому ж, формула для розрахунку середнього загального часу затримки ТЗ виглядає практично так само, як і (1.10). Відмінність полягає лише у відсутності доданку d_3 і дещо іншого запису доданку d_2 :

$$d_2 = 15 \cdot a \cdot \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{240 \cdot X}{d \cdot a}} \right]. \quad (1.11)$$

У австралійському керівництві по управлінню дорожнім рухом (Guide to Traffic Management) приводиться наступна формула для орієнтовної оцінки загальної затримки на окремому перехресті з жорстким світлофорним регулюванням, заснована на дослідженнях Р. Акселіка [24, 87]:

$$t_d = \frac{q \cdot T \cdot (1 - \lambda)^2}{2 \cdot (1 - z)} + N_0 \cdot X,$$

$$N_0 = \begin{cases} \frac{d \cdot a}{4} \cdot \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{12(X - X_0)}{d \cdot a}} \right] & \text{при } \left(X = \frac{q}{d} \right) > X_0; \\ 0 & \text{при } \left(X = \frac{q}{d} \right) \leq X_0, \end{cases} \quad (1.12)$$

де N_0 – середня довжина черги при перенасиченні напрямку руху, ТЗ;

X_0 – рівень насичення напрямку руху, при якому середня довжина черги приблизно дорівнює нулю, $X_0 = 0,67 + \frac{s \cdot T_p}{600}$.

Багато досліджень присвячено певному удосконаленню або адаптації залежностей, наведених в НСМ. Так, в роботі [88] авторами пропонуються модифікації залежності (1.10) для застосування при ускладненні умов руху перед РП через: 1) припарковані неподалік від нього автомобілі; 2) зупинки транспорту, що виконує доставку вантажів (наприклад, в торгові точки); 3) зупинки маршрутних ТЗ для посадки-висадки пасажирів. Одна з таких модифікацій покликана описати затримки ТП при повному блокуванні руху транспортним засобом, що припаркувався на смузі з метою обслуговування споживачів його послуг:

$$t_d = \frac{0,5 \cdot T \cdot \left(1 - \frac{T_p}{T}\right)^2}{1 - \left(\min\left(1, \frac{q_b}{D_b}\right) \cdot \frac{T_p}{T}\right)}, \quad (1.13)$$

а інша – в умовах можливості використання для руху і виконання маневрів ділянки смуги між припаркованим ТЗ і стоп-лінією на перехресті:

$$t_d = \frac{1}{2 \cdot T_p \cdot T} \sum_{e=1}^3 (Q_{e-1} + Q_e) \cdot t_e, \quad (1.14)$$

$$Q_0 = 0, \quad Q_1 = q_1 \cdot t_1, \quad Q_2 = Q_1 + (s_2 - q_2) \cdot t_2, \quad Q_3 = 0,$$

$$t_1 = T - T_p, \quad t_2 = t_b, \quad t_3 = \frac{Q_2}{s_b \cdot \frac{q_2}{q_2 + q_1} - q_2},$$

де q_b – скорегована інтенсивність прибуття ТЗ на досліджуваному напрямку руху з урахуванням повного блокування смуги руху припаркованим ТЗ, ТЗ/год;

D_b – скорегована пропускна спроможність досліджуваного напрямку руху з урахуванням повного блокування смуги руху припаркованим ТЗ, ТЗ/год;

e – індекс виділених у світлофорному циклі періодів часу;

Q_0, Q_1, Q_2, Q_3 – довжина черги перед світлофором в даних виділених періодах часу, ТЗ;

t_1, t_2, t_3 – тривалість обслуговування черги ТЗ Q_i в даних виділених періодах часу, с;

q_1, q_2 – інтенсивність прибуття ТЗ на перехрестя протягом часу t_1 і t_2 відповідно;

t_b – час обслуговування черги в умовах часткового блокування смуги руху припаркованим ТЗ.

Як видно з проведеного аналізу, більшість формул для розрахунку затримок ТЗ на РП отримана, спираючись на результати досліджень Ф. Вебстера [77, 89], і це породжує питання вибору найбільш відповідної залежності для використання в кожній конкретній ситуації і, зокрема, для проведення досліджень в даній роботі.

1.4 Мета і постановка задач дослідження

Кінцевим науковим результатом даного дослідження повинна стати розробка такого методу моделювання ШР ТП в містах, який забезпечує достатню точність транспортних розрахунків і відбиває випадковий характер досліджуваної величини. Досягнення цього результату можливе, але при цьому необхідно враховувати, що в сучасній практиці транспортного планування сформувалися два основні підходи до моделювання:

- аналітичний макропідхід, в якому акцент робиться на стійкі взаємозв'язки між територіями і учасниками транспортного процесу;
- імітаційний мікропідхід, в якому основні зусилля докладаються до опису одноразових взаємодій між індивідуальними користувачами транспортної інфраструктури;

З них необхідно обрати метод, найбільш придатний до застосування в даній роботі.

Попередні підрозділи роботи були, в основному, присвячені аналізу методів, використовуваних в аналітичному моделюванні, оскільки вони більшою мірою відповідають обраному напряму досліджень. Ця відповідність обумовлена тим, що, по-перше, вони відповідають масштабу даного питання, тобто дозволяють описувати транспортні системи міст або окремих територій в їх межах, з великою площею і розвинутою транспортною мережею. По-друге, вони містять інструменти, достатні для опису основних характеристик вузлів (вершин) і відрізків (ребер) мережі. Тому в даному випадку вони виглядають більш прийнятним інструментом моделювання не дивлячись на те, що вони призначені тільки для оцінки середніх значень часу або швидкості переміщень для одиничних об'єктів транспортних систем.

При використанні цих методів необхідно враховувати, що в них і в моделях, що розробляються з їх використанням, основним інструментом управління розподілом ТП по ВДМ є зміна розрахункового часу подолання окремих елементів мережі – вузлів або відрізків. Цей інструментарій має небажаний побічний ефект, який полягає у безпосередньому впливі часу руху на ШР. Тому прагнення транспортного інженера до досягнення відповідності між розрахунковими і фактичними інтенсивностями руху ТП на ВДМ може привести до повної невідповідності між фактичною і розрахунковою швидкостями руху ТЗ.

У таких умовах актуальним стає вибір і обґрунтування ефективного методу управління розподілом ТП в аналітичній транспортній моделі, що забезпечує високий ступінь впливу на розподіл кореспонденцій між альтернативними варіантами шляху прямування при незначній дії на ШР ТЗ. Обов'язковим при цьому є уважне відношення до вибору об'єкту моделювання для проведення експериментальних досліджень, оскільки він повинен носити реальний характер і характеризуватися наявністю повної інформації про параметри функціонування.

Крім того, для отримання бажаного інструменту опису закономірностей коливань ШР ЛА в містах аналітичні транспортні моделі мають бути доповнені механізмом переходу від середніх значень ШР до параметрів закону її розподілу.

Імітаційні моделі, на перший погляд, виглядають перспективнішими з точки зору їх можливостей при описі випадкової ШР ТЗ. Проте, незважаючи на свій поведінковий характер, що враховує випадковості транспортного процесу на вході в модель, вони не можуть вважатися надійним інструментом опису закономірностей коливання ШР з цілого ряду причин. В першу чергу, це обумовлено обмеженими масштабами об'єктів, імітаційні моделі яких можна створювати. Причому ці обмеження визначаються не стільки обчислювальними можливостями комп'ютера, скільки особливостями самих моделей. Випадкові входи в модель, що визначаються законами розподілу та їх параметрами, передбачають дуже специфічний спосіб встановлення потреб учасників руху в пересуваннях.

Моделлю попиту в них є інтенсивності вхідних і вихідних ТП із заданою ймовірністю виконання поворотів на черговому перехресті. Такого способу цілком достатньо при розгляді ізольованих фрагментів ВДМ, що грають в основному транзитну роль і що не є об'єктами, котрі генерують і поглинають пересування. Проте, для оцінки якості функціонування великих територій відсутність пунктів відправлення і призначення для поїздок не заслуговує права вважатися допустимим, оскільки змодельовані поїздки і реальний попит можуть співпасти хіба що як виняток і швидше випадково.

Ще однією особливістю імітаційних моделей є їх слабка керованість, обумовлена дуже простим характером описуваних в них процесів. Різноманіття результатів, що носять випадковий характер, в них обумовлене випадковими входами, які складно керуються і складно перевіряються внаслідок великої кількості реалізацій. Звичайно, статистично порівняти дві ВВ на великому масиві спостережень буває можливо практично завжди, але ось вплинути на результати моделювання і привести їх у відповідність з реальністю в імітаційній моделі набагато складніше, ніж в аналітичній.

Імітаційні моделі містять в собі значно менше інструментів налаштування, ніж аналітичні. Це обумовлено простотою аналітичної частини імітаційних моделей, які зазвичай не мають можливості налаштування навіть на дуже прості і важливі характеристики реального транспортного процесу. Прикладом таких

обмежень є неможливість забезпечити реальне значення потоку насичення в такому сучасному і розвиненому інструменті імітаційного моделювання, як PTV® VISSIM. Взагалі кажучи, існуючі імітаційні моделі створювалися для вирішення інженерних, а не наукових завдань, і повністю відповідають своєму призначенню – створюють уявлення про наслідки реалізації тих чи інших управляючих дій на фрагментах ВДМ. Проте їх дозволяючих можливостей стає недостатньо, коли починає йти мова про рішення наукових завдань з вищими вимогами до точності результатів імітаційного моделювання.

Тому для цілей даної роботи найбільш відповідним способом моделювання випадкової ШР є використання транспортної макромоделі реальних об'єктів з наступним переходом від середніх значень ШР ТЗ на ділянках мережі до її характеристик як випадкової величини. Для того, щоб мати уявлення про ці характеристики, зазвичай буває достатнім знання відповідного закону розподілу і його параметрів – математичного сподівання і стандартного відхилення.

Для визначення параметрів ЗР ШР єдиним можливим способом є спостереження за реальними транспортними процесами, як це і робилося в усіх попередніх дослідженнях ШР, описаних в підрозділі 1.2. Такий стан питання обумовлений індивідуальним характером спостережуваних значень швидкості ТЗ, які повністю визначаються його водієм. Сучасна наука для вивчення свідомої поведінки людини надає тільки один статистичний інструмент дослідження. Ті ж статистичні моделі використовуються і для прогнозування поведінки учасників транспортного процесу, тому питання про вибір найбільш відповідного методу дослідження ШР ТЗ в цій роботі не ставиться – це пасивний експеримент в різних умовах руху, що виникають на окремих ділянках ВДМ.

При цьому, як показав огляд існуючих досліджень, найменш вивченою ШР є в місцях зі складними умовами руху, які виникають на міських ВДМ, причому міра складності дорожніх ситуацій і умов проїзду ділянок ВДМ сильно залежить від їх близькості до центру міст. Тому основну увагу в роботі слід приділяти розгляду саме центральних, найбільш завантажених рухом частин міст.

Проте умови проведення спостережень за ШР в містах, і тим більше в їх цен-

трах, не відповідають звичайним умовам проведення спостережень [73]. Більш того вони швидше суперечать їм, оскільки у відповідних інструкціях прямо вказується на необхідність уникати зон, що викликають прискорення або уповільнення автомобілів, тобто зон зі складними умовами руху. Це створює необхідність пошуку і обґрунтування найбільш відповідних способів заміру ШР ТЗ в складних з точки зору швидкості умовах, які дозволять отримати достовірні значення швидкості, придатні для визначення закономірностей в її значеннях. Додатковим аргументом на користь пошуку нових способів заміру швидкості є індивідуальна манера проїзду складної ділянки кожним водієм, залежна від багатьох чинників, оцінити які можна тільки за допомогою відповідних спостережень.

Висновки по першому розділу

1. На сьогоднішній день основним способом оцінки часу проїзду в міських вулично-дорожніх мережах є визначення часу подолання ділянок залежно від ступеня їх завантаження, тобто близькості інтенсивності ТП на ділянці до його ПС. Головною проблемою такого підходу є недостатній рівень обґрунтування значень ПС однієї смуги руху, з яких формується ПС усієї ділянки.

2. ПС ділянки мережі визначається пропускною спроможністю регульованих перехресть на ній і якщо при моделюванні розподілу ТП належним чином описати затримки ТЗ на перехрестях, то можна виключити необхідність задавати обмеження по ПС відрізків, оскільки вона буде завжди більша ПС відповідних РП.

3. Незважаючи на невизначеність в питанні визначення ПС смуги руху, більшість існуючих методів розподілу ТП в розрахунках спираються саме на неї або на ПС поворотів, а не на характеристики РП. Це викликає сумніви у своїй справедливості і створює резерви для істотного підвищення точності моделювання руху ІТ в містах за рахунок розробки підходу до розподілу ТП на основі оцінки їх затримок на перехрестях. Він вимагає розробки основ його застосування і уважного вивчення

можливостей у порівнянні з існуючим найбільш поширеним розподілом потоків на основі ПС ділянок ВДМ.

4. Спільність підходів до оцінки рівня обслуговування користувачів ІТ, заснованих на визначенні затримок на перехрестях і швидкості руху на ділянках, призводить до висновку про те, що саме ці два параметри можна вважати основними при управлінні транспортними потоками.

5. Основним напрямом в існуючих дослідженнях ШР автомобілів є її вивчення у вільних умовах руху на міжміських дорогах при єдиному обмеженні на максимально дозволена швидкість, встановлену правилами дорожнього руху або дорожніми знаками. У цих умовах швидкість завжди розподілена нормально. Оскільки на міських територіях умови руху не можуть вважатися вільними, задача визначення ЗР ШР в таких умовах є актуальною.

6. Для цілей даної роботи найбільш відповідним способом моделювання випадкової ШР є використання транспортного макромоделювання з наступним переходом від середніх значень ШР ТЗ на ділянках мережі до її характеристик як випадкової величини. Останніми виступають вид відповідного закону розподілу і його параметри: математичне сподівання і стандартне відхилення.

7. Відомі на сьогодні методики заміру ШР ТЗ ґрунтуються на вимірюванні часу проїзду ділянки дороги та її довжини і припускають розгляд отриманого результату як моментальної швидкості, висуваючи при цьому жорсткі обмеження на вибір місця проведення обстеження. У містах, і особливо в їх центрах, ці умови явно не виконуються, що створює необхідність пошуку і обґрунтування відповідних способів заміру ШР ТЗ в складних з точки зору швидкості умовах.

8. Більшість формул для розрахунку затримок ТЗ на РП отримана, спираючись на результати досліджень Ф. Вебстера, що породжує питання вибору найбільш відповідної залежності для використання в кожній конкретній ситуації, у тому числі для проведення досліджень в даній роботі.

Основні результати проведених досліджень в рамках цього розділу опубліковані в роботах [1-4, 6, 7].

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ НА ШВИДКІСТЬ РУХУ АВТОМОБІЛІВ

Виходячи з результатів першого розділу дисертації, для переходу до експериментальних досліджень спочатку необхідно виробити основні положення по розподілу транспортних потоків на ВДМ міст з урахуванням впливу РП як головної причини зниження середньої ШР в навантажених частинах міської мережі. Після цього необхідно визначитися зі способом оцінки трудности сполучення при моделюванні розподілу ТП потоків по ВДМ, а також адекватності моделювання їх швидкості та інтенсивності в транспортній моделі реального об'єкту. Це дозволить використовувати аналітичну транспортну модель такого об'єкту для проведення експериментальних досліджень ШР.

Для отримання характеристик ШР як випадкової величини також необхідно формалізувати процес зміни швидкості руху автомобіля в складних умовах руху, в першу чергу – в зоні впливу регульованих перехресть.

2.1 Теоретичні основи розподілу транспортних потоків по вулично-дорожній мережі міст з урахуванням впливу регульованих перехресть на швидкість руху

Особливістю всіх транспортних моделей є опис ділянок ВДМ за допомогою відрізків, що обов'язково сполучають між собою два вузли. У моделі вузли є об'єктами, котрі пов'язані з відрізками, але при цьому мають своє власне призначення і свій набір характеристик. Відрізки в моделі не можуть бути визначені без вузлів, а вузли не мають сенсу, якщо ними не починається або не закінчується хоча б один відрізок.

Цими особливостями транспортні моделі відрізняються від share-файлів, в

яких точки (мультиточки) і лінії (полілінії) є самостійними об'єктами [90]. Це обумовлено загальнішим характером геоінформаційних систем, в яких використовуються shape-файли, а практика експорту даних з таких файлів для транспортних розрахунків є тільки окремим випадком їх застосування.

У транспортних моделях вузли в основному використовуються для опису перехресть, на яких відбуваються кардинальні зміни умов руху по перехрещуваних ділянках ВДМ. Проте вузли треба використовувати і там, де змінюється кількість або ширина смуг на ділянці ВДМ, дорожнє покриття або максимально дозволена швидкість руху. При побудові детальної моделі ними, наприклад, можна описувати місця проходження пішохідних переходів через вулицю або місця встановлення пристроїв примусового зниження швидкості. Список об'єктів, які можуть бути описані за допомогою вузлів, можна продовжувати і далі, але правильніше сформулювати їх призначення таким чином: вузлами в транспортній моделі описуються усі точки на ВДМ, в яких змінюються умови руху по ділянках.

З того, що всі місця зміни умов руху по ділянках описуються вузлами, витікає, що відрізки в транспортній моделі описують виключно ділянки, що мають однакові характеристики по усій їх довжині. Це твердження, незважаючи на категоричність, не повинне викликати сумнівів у своїй справедливості, оскільки пропонуваній розробниками програмного забезпечення перелік характеристик відрізка в моделі припускає завдання рівно одного значення для кожної з них. Така міра формалізації абсолютно потрібна для створення моделі і питання полягає тільки в пропонувананих розробниками можливостях в плані деталізації при описі реальної ВДМ. Але, незалежно від неї, у будь-якій транспортній моделі усі ділянки будуть однорідними по переліку своїх характеристик.

І в цій однорідності полягає відмінність поняття ділянки в транспортній моделі від поняття ділянки міської вулиці, використовуваної в [22] при оцінці рівня обслуговування, яке ближче до поняття полілінії в shape-файлі. Ділянки міських вулиць в [22] обмежені знизу по довжині – вони мають бути не коротше 1,5 км в центральній частині міст і 3 км на периферії. На таких ділянках може бути багато місць зміни умов руху. Можливо, що ця різниця в поняттях зробила певний внесок

в те, що методика оцінки рівня обслуговування в НСМ [22] отримала дуже обмежене використання при оцінці часу проїзду по ділянках ВДМ в широко поширених програмах для транспортного моделювання [25, 91-93].

Чітке визначення відрізка в транспортній моделі, проте, дозволяє спростити методику НСМ, оскільки в моделі кількість перехрещень на відрізках тепер не може бути більше двох: одного на початку відрізка та іншого – у кінці. При цьому відповідно до визначення [22] ПС ділянки визначається пропускною спроможністю регульованих перехресть на ній. ПС РП при однаковій кількості смуг на ділянці і перехресті завжди буде свідомо нижчою, ніж на ділянці ВДМ, за рахунок обмежень за часом його використання, що виникають на перехресті для конкуруючих потоків учасників руху. Таким чином, якщо належним чином описати затримки на перехресті, то можна виключити необхідність задавати обмеження по ПС відрізків, оскільки вона буде завжди більша ПС відповідних вузлів.

Низька швидкість ТЗ на ділянках ВДМ, що не мають обмежень за умовами руху, завжди обумовлена наявністю якихось перешкод попереду по напрямку руху ТП. Таке явище, по суті, можна розглядати як просування в черзі до «вузького» місця ВДМ, яке в транспортній моделі описується за допомогою вузла. В цьому випадку зниження швидкості, насправді, викликається необхідністю дочекатися можливості подолання вузького місця, а не властивостями ділянки, на якій спостерігається зниження швидкості. Кількісно цей процес характеризується часом затримки у вузькому місці.

Таким чином, як альтернативу стандартному підходу до розподілу ТП на основі ПС ділянок (надалі «стандартний підхід») доцільно розробити новий підхід, заснований на оцінці затримок ТП на перехрестях (надалі «новий підхід») і оцінити доцільність їх використання при транспортному моделюванні міських систем індивідуального транспорту.

Для вирішення цього завдання спочатку необхідно з множини альтернативних варіантів проведення розрахунків, пропонованих сучасним програмним забезпеченням, виділити конкретні інструменти, що найбільшою мірою розкривають особливості кожного способу проведення розрахунків і забезпечують відповідність

реальному об'єкту.

За підсумками виконання першого розділу дисертаційної роботи було встановлено, що серед наявних програм для моделювання транспортних систем широкі можливості для опису реальних об'єктів надає PTV® VISUM. Його дружній по відношенню до користувача інтерфейс, доступність безкоштовних демо- та учбових версій, а також наявність академічної і комерційної версій програми в ХНАДУ дозволяють вибрати його як інструмент для набуття розрахункових значень необхідних характеристик транспортних потоків.

У транспортній моделі, розробленій з використанням цього програмного продукту, швидкість руху визначається виходячи з часу поїздки між пунктами відправлення і прибуття. Час поїздки, під яким в моделі мається на увазі загальніше поняття, – час подолання об'єктів мережі – розраховується на основі VD функцій. Як вже згадувалося в підрозділі 1.1, вони служать для врахування тієї обставини, що із зростаючою інтенсивністю руху збільшується час поїздки («опір») на об'єктах мережі. Усі VD функції ґрунтуються на припущенні, що час руху на об'єкті мережі є монотонно зростаючою функцією від навантаження на об'єкт мережі (інтенсивності руху) [25].

PTV® VISUM пропонує користувачам ідентичні набори VD функцій для усіх об'єктів мережі, у тому числі відрізків і поворотів:

- BPR (Bureau of Public Roads) № 1, 2, 3;
- CONICAL і CONICAL MARGINAL;
- EXPONENTIAL;
- INRETS;
- LOGISTIC;
- QUADRATIC;
- SIGMODAL № 1, 2;
- AKCELIK № 1, 2;
- LOHSE;
- LINEAR BOTTLENECK.

Усі функції використовують одні й ті самі початкові дані, основними з яких є час подолання об'єкту без навантаження, пропускна спроможність і поточне навантаження на нього. Вони також містять три калібрувальні параметри – a , b і c , які в різних функціях приймають різний фізичний сенс.

Слід зазначити, що більша частина цих функцій має апріорний характер і не ґрунтується на будь-яких серйозних дослідженнях. Їх завдання – забезпечити транспортного інженера якомога більшими можливостями для підвищення точності опису реальних ТП шляхом підбору найбільш відповідної функції та її параметрів.

Проте такий рівень формалізації не виглядає переконливим при рішенні наукових завдань. Тому для проведення порівняльної оцінки можливостей альтернативних підходів до розподілу ТП доцільно вибрати функцію, яка є результатом дослідження реальних процесів затримки ТЗ на перехрестях.

З наведеного списку цій вимозі відповідає VD функція Р. Акселіка (у інтерфейсі PTV® VISUM має назву AKCELİK) [94]. Вона була отримана на основі загальноприйнятої для ненавантажених умов роботи РП формули Ф. Вебстера

$$t_d = \frac{T \cdot (1 - \lambda)^2}{2 \cdot (1 - \lambda \cdot x)} + \frac{x^2}{2 \cdot q \cdot (1 - x)} - 0,65 \cdot \left(\frac{T}{q^2} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot x^{(2+5\lambda)}, \quad (2.1)$$

де t_d – середня затримка одного автомобіля на окремому під'їзді до перехрестя, с;

T – тривалість світлофорного циклу, с;

λ – частка зеленого сигналу для даного напрямку руху у світлофорному циклі,

$$\lambda = \frac{T_p}{T};$$

T_p – тривалість фази, що дозволяє рух, для обраного напрямку у світлофорному циклі, с;

q – інтенсивність транспортного потоку в даному напрямі руху, с⁻¹;

s – потік насичення (інтенсивність роз'їзду автомобілів при сигналі світлофора, що дозволяє рух), с⁻¹ [95].

Перший доданок у формулі (2.1) називається рівномірною затримкою (uniform delay), другий – переповнюванням, третій – має коригувальний характер і зазвичай замінюється множником 0,9 перед двома першими доданками.

Основним недоліком формули Вебстера вважається обмежений діапазон навантаження на напрям, зазвичай $x < 0,9$, в якому вона дає прийнятні оцінки часу затримки.

Формула Акселіка є одним з прикладів відходу від цього недоліку. Вона отримана як наближення до формули А. Міллера [96] і має такий вигляд:

$$t_d = \frac{T \cdot (1 - \lambda)^2}{2 \cdot (1 - \lambda \cdot \frac{x}{c})} + 900 \cdot a \cdot \left[\left(\frac{x}{c} - 1 \right) + \sqrt{\left(\frac{x}{c} - 1 \right)^2 + \frac{8 \cdot b \cdot x}{d \cdot a \cdot c}} \right], \quad (2.2)$$

де c – калібрувальний параметр, що коригує ПС смуги руху;

a – тривалість певного періоду функціонування ВДМ, год;

b – калібрувальний параметр (family parameter);

d – пропускна спроможність смуги руху, од./год.

Формула (2.2) має широке практичне застосування, оскільки реалізована в програмному забезпеченні SIDRA (Signalized Intersection Design and Research Aid), яке створене і розвивається Австралійським дослідницьким центром автомобільних доріг [97]. Методика розрахунку затримок на її основі, як і програмне забезпечення, є частиною Австралійського керівництва по управлінню дорожнім рухом [98], що випускається державним агентством Austroads.

Ще одним аргументом на користь використання формули (2.2) є її спільність з аналогічними оцінками часу затримки на РП в американському [22] і канадському керівництві по управлінню дорожнім рухом [23]. Вони побудовані на одній основі, призначені для досягнення одних цілей, дають схожі результати і, більш того, мають загальну для усіх форму розрахунку [94]. Перераховані видання [22-24, 98] є найбільш авторитетними методичними вказівками по управлінню дорожнім рухом, а національні стандарти в інших країнах здебільшого схожі із згаданими. Тому ви-

бір формули (2.2) для порівняльного аналізу альтернативних підходів до перерозподілу ТП по мережі практично повністю відбиває існуючі підходи до оцінки затримок на РП.

У PTV[®] VISUM залежність (2.2) дещо модифікована і використовується у вигляді

$$t_d = t_0 + \frac{3600}{4} \cdot a \cdot \left[(\text{sat} - 1) + \sqrt{(\text{sat} - 1)^2 + \frac{8 \cdot b \cdot \text{sat}}{d \cdot a}} \right], \quad \text{sat} = \frac{q}{d \cdot c}, \quad (2.3)$$

де t_0 – час проїзду об'єкту мережі у вільних умовах руху.

Що стосується найближчої за змістом VD функції AKCELIK2, то вона є пристосованим до відрізків варіантом функції AKCELIK. Це автоматично забезпечує можливість проведення експерименту з альтернативними підходами до перерозподілу ТП по мережі. Інших повноцінних альтернатив обраній функції AKCELIK серед наявних в PTV[®] VISUM функцій немає, і тому саме вона використовуватиметься в подальших розрахунках.

У формулі (2.3) знову виникає змінна, що означає ПС смуги руху, котра не має обґрунтованих значень для міських вулиць. Однак для перехресть добре відомий такий показник, як потік насичення, який є максимальною інтенсивністю роз'їзду автомобілів від регульованого перехрестя при постійно включеному зеленому сигналі світлофора. Він коливається в невеликих діапазонах і не суперечить відомим значенням фактичних інтенсивностей руху. У НСМ 2010 [22] його значення рекомендується приймати такими:

– 1700 од./год для центральної частини міст, з діапазоном зміни (1600-1800) од./год;

– 1800 од./год для всіх інших випадків, з діапазоном зміни (1700-1950) од./год.

Завдяки тому, що кількість ТЗ, що починають рух від перехрестя на зелений сигнал світлофора, обмежена тривалістю цього сигналу, потік насичення визначається для умов відсутності перешкод руху. Ця свобода наближає його до максима-

льно можливої інтенсивності руху ТЗ по смузі руху без перешкод. Тому потік насичення доцільно прийняти як ПС смуги руху як найбільш стабільну, надійну і перевірену оцінку максимальної інтенсивності руху ТП в міських умовах:

$$d = s . \quad (2.4)$$

Ця оцінка ПС смуг руху може бути використана як при стандартному розподілі ТП – на основі пропускної спроможності відрізків, так і для нового підходу до розподілу – на основі затримок на поворотах (РП).

Розподіл транспортних потоків у PTV[®] VISUM реалізується за допомогою процедури перерозподілу [25], котра слугує, окрім іншого, для визначення і аналізу транспортної пропозиції. Перерозподіл допомагає розраховувати навантаження об'єктів мережі і параметри для оцінки якості сполучення між транспортними районами (об'єктами тяжіння). У ньому моделюються пасажирські поїздки, при яких користувач індивідуального транспорту обирає маршрут, тобто набір відрізків, найбільш зручних для реалізації мети зміни місця розташування [25].

Процедура перерозподілу ґрунтується на різних алгоритмах, які визначають маршрути, засновуючись на таких параметрах, як час, відстань і вартість поїздки. Кінцевим результатом перерозподілу є значення навантаження (інтенсивності руху ТП) на об'єктах мережі – вузлах, відрізках, примиканнях, поворотах [25]. У PTV[®] VISUM доступний ряд процедур перерозподілу, рис. 2.1.

Постепенно
Равновесие
Обучающая процедура
МультиПоследовательность
МультиРавновесие
МультиОбучающая процедура
Стохастический
Дин-Стохастическое
Tribut
Обучающая процедура Tribut

Рисунок 2.1 – Альтернативні процедури перерозподілу в PTV[®] VISUM

Процедура послідовного перерозподілу моделює поступове, ітеративне «наповнення» вулично-дорожньої мережі. Спочатку учасники транспортного руху наповнюють вільну дорожню мережу, в якій для кожної кореспонденції існує тільки один – найкоротший шлях. Кожна ітерація навантажує ВДМ додатковими транспортними засобами і таким чином збільшує опір на відрізках і поворотах. Змінений опір впливає на вибір найкоротшого шляху на наступній ітерації. Основними недоліками процедури є значний вплив на результати моделювання кількості і величини часток, на які ділиться матриця кореспонденцій, а також закінчення розрахунків після заданої кількості ітерацій незалежно від відповідності між досягнутим навантаженням і опором на відрізках [25].

Процедура рівноважного перерозподілу розділяє транспортний попит відповідно до першого принципу Вардропа [84]: «Кожен окремих учасник транспортного руху обирає свій маршрут так, що опір на альтернативних шляхах, в кінцевому підсумку, рівний і кожна зміна шляху на будь-який інший збільшує власний час в дорозі». Виходячи з послідовного перерозподілу потоків як початкового рішення, створюється рівноважний стан у багатоступінчастій ітерації. У внутрішньому кроці ітерації альтернативні шляхи для однієї кореспонденції приводяться у рівновагу. У зовнішньому кроці ітерації перевіряється, чи є при новому актуальному стані мережі нові шляхи з меншим опором. Оскільки виконання процедури завершується тільки тоді, коли усі шляхи окремих кореспонденцій знаходяться в стані рівноваги, автори стверджують, що її результати ближче до дійсності, ніж при послідовному перерозподілі [25].

Навчальна процедура відображає процес «навчання» учасників транспортного руху під час переміщення по мережі. Виходячи з принципу «усе або нічого», водії враховують інформацію останньої поїздки для нового пошуку шляхів. При цьому опір для пошуку шляхів виводиться з опору при актуальній інтенсивності руху і з опору, розрахованого на попередній ітерації. Стверджується, що при достатній кількості ітерацій метод дає близькі до дійсності стабільні результати, але вимагає, як правило, більшої кількості пошуків шляху, ніж процедура рівноважного перерозподілу [25].

У стохастичному перерозподілі для кожної кореспонденції створюються альтернативи шляхів при зміні опору об'єктів мережі згідно з розподілом ТП. Таким чином, враховується неповна інформованість учасників руху про дорожню обстановку, її індивідуальне сприйняття і надання ними переваги тому чи іншому шляху. В результаті в одному кроці ітерації можна визначити не лише найкоротший шлях, але й альтернативні шляхи з вищими опорами. Після пошуку шляху попит розподіляється по альтернативах згідно з моделлю розподілу. На відміну від рівноважного, в стохастичному перерозподілі навантажується більше шляхів вже в слабо навантажній мережі, оскільки згідно з моделлю розподілу, невелика частина попиту переходить на другорядні шляхи. Вважається, що реальність тут відображається більшою мірою, ніж при застосуванні принципу Вардропа [25].

Процедури мультиперерозподілів можуть моделювати ТП для декількох сегментів попиту одночасно [25]. Для вирішуваних в цій роботі завдань, коли розглядається тільки один сегмент попиту, – ІТ – їх використання недоцільне.

Процедура TRIBUT призначена для врахування зборів за проїзд по платних дорогах і, на відміну від класичного підходу, використовує випадкову значущість часу в дорозі. Цей підхід є реалістичнішим в плані гнучкості цін при використанні платних доріг, але для даного випадку інтересу не представляє.

Динамічний стохастичний перерозподіл відрізняється від усіх інших процедур перерозподілу ІТ точним моделюванням часу, від якого залежить здійснення поїздок в мережі. У динамічному перерозподілі задається повний діапазон часу перерозподілу, який розділяється на інтервали однакової довжини, наприклад, 15-хвилинні. Пошук альтернативних шляхів для кожної кореспонденції здійснюється незалежно від конкретного моменту перерозподілу. Як і при статичному стохастичному перерозподілі, проводяться декілька пошуків найкоротшого шляху з випадково варійованими опорами елементів мережі. Усі наступні дії залежать від часу. Для кожного інтервалу часу з усього попиту визначається частка і момент бажаного часу відправлення. З боку пропозиції транспортних послуг на вибір надаються пари «відправлення – прибуття» (сполучення), що складаються зі шляху та інтервалу часу відправлення. Опір сполучення складається з його опору в мережі і різниці

між фактичним і бажаним інтервалом часу відправлення. При визначенні опору для кожного елемента мережі зберігається навантаження i , залежно від міри навантаження, – час в дорозі окремо для кожного інтервалу часу [25]. Таке ускладнення процедури обумовлене бажанням розробників підвищити точність результатів моделювання, проте доцільність її використання для нетривалих за часом пікових періодів викликає сумніви.

Усі вищеописані процедури припускають пошук найкоротшого за величиною опору шляху і наступне навантаження шляхів для усіх пар «відправлення – прибуття» (транспортних районів). Проте кількість альтернативних шляхів між пунктами відправлень і прибуттів та розподіл транспортного попиту між ними в процедурах визначається по-різному [25].

У послідовному розподілі визначається єдиний найкоротший шлях на кожній ітерації розрахунку і навантажується відповідно до частки попиту, що приходить на цю ітерацію.

У процедурі рівноважного перерозподілу окрім пошуку найкоротшого шляху відбувається урівноваження опору знайдених шляхів за рахунок ітеративної зміни навантаження шляхів з мінімальним і максимальним опором. У навчальній процедурі також здійснюється урівноваження знайдених шляхів, проте їх опір на кожній наступній ітерації залежить від опору, породженого навантаженням на попередній ітерації.

Стохастичний перерозподіл припускає визначення найкоротшого і найближчих до нього шляхів з наступним розподілом попиту між ними на основі моделей вибору – логіт-моделі, перетворення Бокса-Кокса, моделей Кірхгофа і Лозе [25]. Опір шляху в цьому випадку перетворюється в його корисність з наступним застосуванням однойменної теорії.

Процедура TRIBUT в розподілі попиту схожа з послідовним і рівноважним перерозподілами, проте при розрахунку опору дозволяє врахувати величину збору за користування платними дорогами.

У динамічному стохастичному перерозподілі величина навантаження на шлях так само, як і в (статичному) стохастичному, визначається на основі моделей

вибору (логіт, Бокса-Кокса, Кірхгофа, Лозе), проте у визначенні опору шляхів (їх корисності) враховується час початку поїздки учасника руху [25].

Підводячи підсумки вивчення особливостей процедур перерозподілу ТП, доступних в PTV[®] VISUM, можна зробити висновок, що для подальшого використання в експериментальних дослідженнях найбільш підходящими є базові односегментні процедури послідовного, рівноважного і навчального перерозподілів. Вони є відносно простими, що дає можливість розраховувати на розуміння отриманих результатів. Крім того, потенційно вони набагато чутливіші до часу проїзду ТЗ по елементах мережі, ніж складні процедури, що є очевидною перевагою у разі порівняльної характеристики стандартного і нового підходів до розрахунку цього часу і розподілу ТП на його основі.

Аналіз приведених основ, на яких побудовані процедури, дозволяє стверджувати, що найбільш чутливим до часу проїзду є послідовний перерозподіл, і саме його доцільно використовувати далі в роботі.

2.2 Основи оцінки трудності шляхів сполучення у вулично-дорожній мережі при моделюванні швидкості та інтенсивності транспортних потоків

При рішенні завдань моделювання, в тому числі потоків індивідуального транспорту в містах, як обов'язкова умова приймається відповідність характеристик модельованого транспортного процесу їх реальним значенням на ВДМ. У рамках цієї роботи це, в першу чергу, стосується часу поїздок і швидкості руху по мережі. Тут також додатково ставиться завдання отримання порівняльної характеристики двох альтернативних варіантів моделювання ТП ІТ в місті: стандартного – на основі пропускної спроможності ділянок мережі, і нового – на основі затримок транспортних засобів на перехрестях. При цьому як критерій оцінки адекватності моделювання і одночасно ефективності альтернатив, доцільно прийняти відносну помилку опису розрахунковими інтенсивностями ТП їх

фактичних значень:

$$\Delta_{III} = \frac{|I_c - I_a|}{I_a} \cdot 100 \% , \quad (2.5)$$

де I_c – розрахункове значення інтенсивності ТП за аналізований період;

I_a – фактичне значення інтенсивності ТП за аналізований період.

Для отримання інтенсивностей, а також інших розрахункових параметрів ТП в транспортній моделі PTV[®] VISUM, необхідно обґрунтувати значення всіх параметрів моделі, які необхідно використовувати в процедурі розподілу ТП.

При використанні формули (2.3) в новому підході залишається відкритим питання оцінки часу затримки при вільній мережі t_0 , яка в PTV[®] VISUM визначає трудність проїзду («опір» шляхів прямування) по ВДМ. У стандартному підході повинна використовуватися VD функція AKCELIK2, в якій час затримки для вільної мережі дорівнює відношенню

$$t_0^s = \frac{l_l}{V_f} , \quad (2.6)$$

де t_0^s – стандартний час проїзду вільної ділянки мережі;

l_l – довжина ділянки;

V_f – швидкість вільного руху по ділянці.

У новому підході при визначенні t_0'' – затримки вільного руху на поворотах, які не мають довжини, – це значення треба задавати. З точки зору процесів, що відбуваються безпосередньо на РП, t_0'' – це середній час затримки ТЗ на світлофорі за відсутності інших ТЗ в мережі, тобто при $x = 0$. У цьому випадку перший доданок у формулі (2.2), який практично без змін перейшов в неї з формули (2.1), набуває наступного вигляду:

$$t_d = \frac{T \cdot (1 - \lambda)^2}{2 \cdot (1 - \lambda \cdot \frac{x}{c})} = \frac{T \cdot \left(1 - \frac{T_p}{T}\right)^2}{2} = \frac{(T - T_p)^2}{2 \cdot T}. \quad (2.7)$$

Отриманий вираз є висновком з теореми Сміта, згідно з яким розраховується час очікування в системі масового обслуговування з перериванням [99]. Він є теоретично коректною оцінкою часу затримки на перехресті при випадковому прибутті ТЗ і нульовому навантаженні на нього, і надалі її можна використовувати при розрахунку характеристик ТП в ході експериментальної перевірки теоретичних основ, що розробляються.

Тоді, в новому підході початковий час подолання поворотів дорівнюватиме сумі середніх значень часу проїзду ТЗ по ненавантаженій ділянці перед перехрестям і очікування можливості проїзду РП:

$$t_0^n = \frac{l_l}{V_f} + \frac{(T - T_p)^2}{2 \cdot T}. \quad (2.8)$$

Підводячи підсумок під вищевикладеним, можна відмітити, що новий підхід – на основі затримок на РП – доцільно реалізовувати, спираючись на характеристики таких елементів моделі мережі, як повороти, котрі характеризуються напрямком і затримками при їх подоланні, що виникають на РП для різних напрямків руху.

Час на подолання вузлів мережі доцільно враховувати в трудності проїзду по ВДМ шляхом створення «опору» руху на нерегульованих перехрестях із заданим пріоритетом проїзду або без нього. Такі перехрестя з транспортної точки зору є самою ненавантаженою рухом частиною ВДМ в містах, але вони існують у будь-якій мережі і вимагають такої ж уваги, як і РП.

При цьому порівняння альтернативних підходів до моделювання слід проводити на моделі реальної транспортної мережі. Це необхідно для забезпечення

можливості порівняння розрахункових інтенсивностей ТП з їх фактичними значеннями і гарантує близькість вирішуваної теоретичної задачі до проблем, що виникають в ході рішення практичних завдань моделювання.

Модель реальної транспортної мережі в PTV® VISUM надасть результати у вигляді середніх значень швидкості руху транспорту на об'єктах мережі (відрізках) і між об'єктами тяжіння (транспортними районами), що створить умови для переходу до її характеристики як ВВ.

2.3 Формалізація процесу зміни швидкості руху автомобіля в зоні впливу регульованого перехрестя

Умови руху транспортних засобів у містах рік за роком стають все більш складними і призводять до все більш негативного впливу на середовище проживання людей. Нині для оцінки якості ОДР і ступеню його впливу на інші аспекти міського життя використовуються різні методи планування транспортного процесу, засновані на аналітичних та імітаційних моделях. Встановлення ЗР швидкості руху ТЗ в міських умовах є актуальним завданням, рішення якого дозволить підвищити точність транспортних прогнозів, що формуються за допомогою аналітичних або імітаційних моделей транспортних мереж і їх елементів.

Швидкість учасників руху в імітаційних моделях є випадковою величиною, залежною від великої кількості факторів. Імітаційні моделі відтворюють рух кожного його учасника і дозволяють проаналізувати як працюватиме той чи інший варіант ОДР на відносно невеликих фрагментах вулично-дорожньої мережі.

У аналітичних моделях, призначених для складання довгострокових прогнозів функціонування міських або регіональних транспортних систем в цілому, швидкість руху учасників визначається особливим способом для кожної системи транспорту, але в усіх випадках вона виступає як детермінована величина, функціона-

льно залежна від усереднених параметрів роботи мережі. Достатність такого представлення у багатьох випадках викликає серйозні сумніви, особливо коли йдеться про оцінку ШР ТЗ в зоні впливу регульованого або нерегульованого перехрестя. Використовувані в цьому випадку моделі розрахунку середньої швидкості руху ТЗ в основному спираються на пропускну спроможність ділянок ВДМ [100], що не може вважатися достатнім для максимально коректного опису швидкості хоча б через відсутність обґрунтованих методик визначення пропускну спроможності [101]. Разом з цим, для розрахунку об'єму викидів моторними ТЗ шкідливих речовин в атмосферу знання середньої швидкості недостатньо, оскільки інтенсивність викидів дуже залежить від фактичної швидкості руху ТЗ [41], яка може змінюватися в різних умовах з урахуванням шуму прискорення [43].

Визначення закону розподілу випадкової величини ШР ТЗ є актуальним завданням для будь-яких ділянок ВДМ, але особливо актуальною воно стає в місцях з ускладненими умовами руху через значний вплив таких умов як безпосередньо на саму швидкість, так і на витрати палива транспортними засобами. В першу чергу, до таких місць слід віднести перехрещення міських вулиць в одному рівні (вузли), оскільки вони разом з перегонами (відрезками) є найпоширенішими об'єктами у ВДМ і створюють найбільші перешкоди для проїзду ТЗ.

Метою цього підрозділу є обґрунтування умов виникнення і зміни закономірностей коливання швидкості ТЗ в утруднених умовах руху. Її досягнення можливе за рахунок розгляду швидкості руху ТЗ як випадкової величини, основною характеристикою якої є закон її розподілу, і висування обґрунтованої гіпотези відносно виду розподілу швидкості ТЗ в утруднених умовах руху.

Передумовою для формування гіпотези відносно виду розподілу швидкості руху ТЗ в утруднених умовах є визначення того, як зміниться ліва частина проаналізованого в підрозділі 1.2 нормального розподілу швидкості руху у вільних умовах при зниженні її середнього значення, яке може бути викликане яким-небудь ускладненням або погіршенням умов руху.

Оскільки скалярна швидкість визначена тільки на невід'ємній області значень, її мінімальне значення дорівнює нулю. При достатньому віддаленні середньо-

го значення швидкості від нуля лівий хвіст $[-\infty; 0)$ теоретичного нормального розподілу N має дуже низьку ймовірність $F_{N_0} \approx 0$. У випадку вільного руху це дозволяє не брати лівий хвіст до уваги при статистичній перевірці гіпотези про відповідність нормальному розподілу з двосторонньою нескінченністю носія, тобто, по суті, забувати про нього на момент оцінки. Проте, при збереженні закону і форми розподілу, зменшення середнього значення швидкості повинне призводити до появи дуже значущого невід'ємного хвоста розподілу, рис. 2.2.

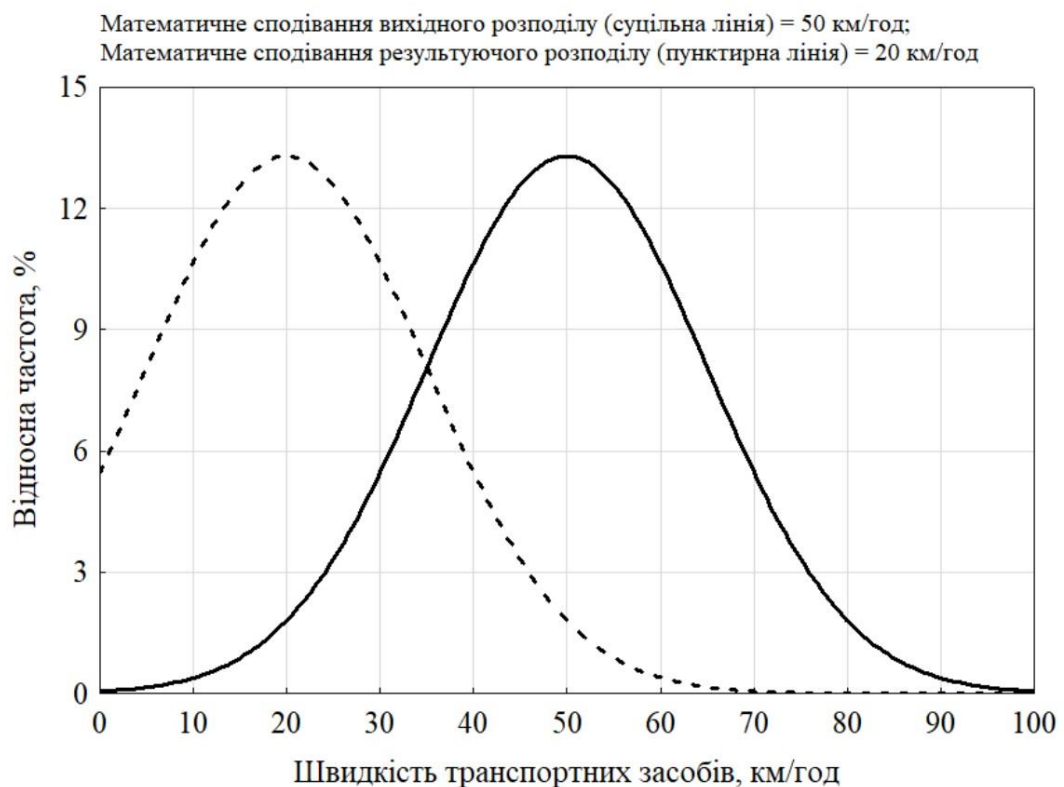


Рисунок 2.2 – Результат зниження середньої швидкості руху ТЗ, розподіленої за нормальним законом

Оскільки такого хвоста насправді бути не може через невід'ємну область визначення швидкості, то встає питання про те, в який розподіл трансформується нормальний закон в подібних умовах. У цій роботі не ставиться завдання знайти всебічне і повне теоретичне пояснення цього явища – необхідно тільки знайти зручний інструмент трансформації розподілу ШР ТЗ при зміні умов руху на АД. Встанов-

лення цих закономірностей достатньо важливе для підвищення точності моделювання транспортного процесу в регіональних і місцевих транспортних системах, для чого цілком достатньо і описового підходу.

Для того, щоб знайти згаданий відповідний інструмент, необхідно визначити кінцеву позицію трансформації нормального закону. З цією метою можна представити що буде, якщо швидкість знизиться настільки сильно, що нульове значення швидкості виявиться правіше за центр початкового нормального розподілу швидкості вільного руху, рис. 2.3.

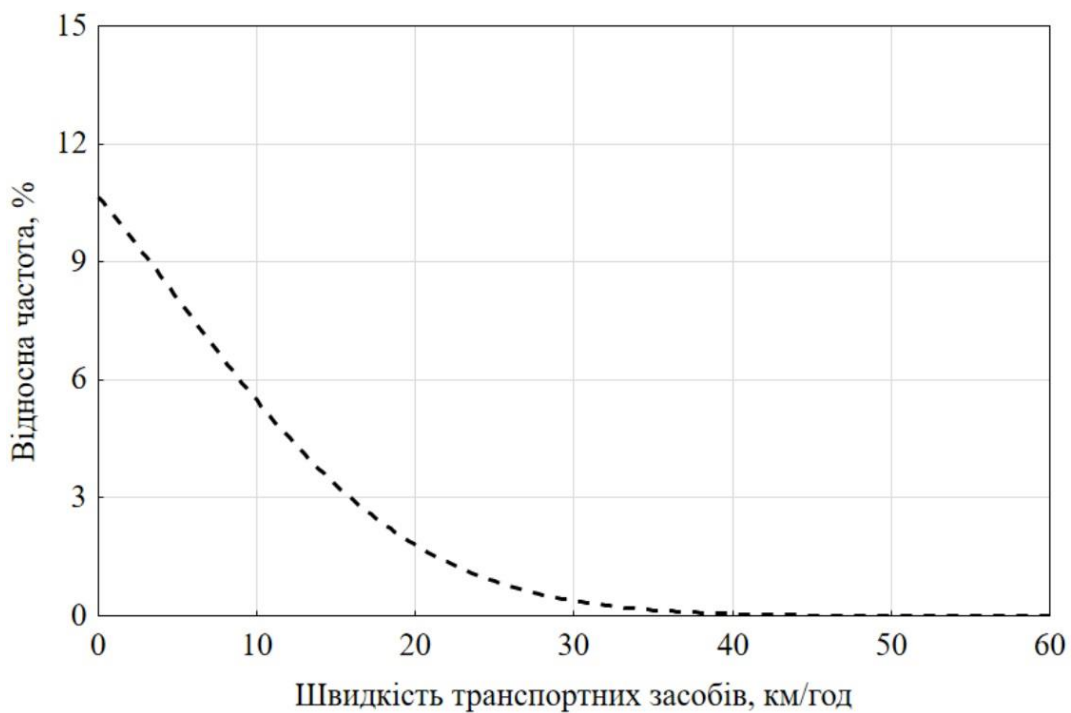


Рисунок 2.3 – Частина щільності нормально розподіленої ШР ТЗ на додатній півосі при її значному зниженні

Очевидно, що в цьому випадку залишається дійсним тільки правий хвіст нормального розподілу, для якого на статистичному матеріалі складно буде спростувати гіпотезу про його відповідність показниковому закону розподілу ВВ, зовнішня відповідність якому цілком очевидно з рис. 2.3. Тому крайньою формою розподілу ШР ТЗ при наближенні середньої швидкості до нуля, з прикладної і описової точки зору цілком логічно вважати показниковий закон. Власне, такий рівень обґрунто-

ваності є цілком достатнім для цілей опису трансформації розподілу швидкості за відсутності теоретичних передумов для аналітичного опису поведінки учасників руху.

При допущенні про те, що в найскладніших умовах руху нормальний розподіл швидкості руху ТЗ трансформується в показниковий, залишається тільки знайти зв'язуючу ланку між цими двома розподілами.

Ускладнення умов руху в загальному випадку не передбачає обов'язкової повної зупинки автомобіля при їх виникненні, хоча і не забороняє її. До подібних ускладнених умов у міських транспортних системах можна віднести звуження проїзної частини і ділянки ВДМ перед стоп-лініями РП. З цих умов проміжним можна вважати саме звуження проїзної частини, що часто призводять лише до необхідності зниження ШР без повної зупинки. При цьому на роль зв'язуючої ланки при трансформації нормального розподілу ШР ТЗ в показниковий для істотного ускладнення умов руху добре підходить гамма-розподіл [74]. З одного боку, показниковий розподіл є його окремим випадком з параметром форми, рівним 1, з іншого боку, нормальний розподіл є граничним гамма-розподілом з параметром форми, що прямує до нескінченності. Взагалі, гамма-розподіл є узагальненням розподілу Ерланга на випадок нецілих параметрів форми, який виникає як сума незалежних показниково розподілених ВВ. Кількість доданків визначає параметр форми розподілу Ерланга. Відповідно до центральної граничної теореми, при великій кількості доданків сума незалежних ВВ має нормальний розподіл [26, 102].

Маючи такі властивості, гамма-розподіл стає зручним інструментом для опису процесу трансформації нормального закону в показниковий. Зважаючи на той факт, що зниження швидкості ТЗ, викликане звуженням проїзної частини, не є крайньою ситуацією з точки зору ступеню зниження ШР, оскільки не вимагає обов'язкової зупинки ТЗ, то цілком обґрунтованою тут виглядає гіпотеза про відповідність розподілу швидкості руху ТЗ в місцях з вузькою проїзною частиною гамма-розподілу.

Для вузької проїзної частини повна зупинка повинна означати недостатність ширини проїзду для габаритів автомобіля на думку його водія. Тобто зупинка є ре-

акцією конкретного водія тільки на ширину проїзної частини, виключаючи інші причини, такі як, наприклад, інші автомобілі з попутного і зустрічного транспортних потоків на шляху руху. Це означає, що оцінка фактичних значень ШР ТЗ в складних через звуження проїзної частини умовах руху повинна робитись на перегоні вулиці поза зоною впливу перехресть, якими починається і закінчується досліджуваний перегін. Це твердження відносно обов'язковості забезпечення «чистих» умов спостереження, вільних від впливу інших перешкод, стосується й інших перешкод руху ТЗ, наприклад, регульованих або нерегульованих пішохідних переходів, зупиночних пунктів міського громадського транспорту без заїзного карману і т.д. Але в цій роботі будуть розглянуті тільки два варіанти ускладнення – звуження проїзної частини і регульовані перехрестя ВДМ.

При підтвердженні висунутої гіпотези про гамма-розподіл параметр його форми повинен збільшуватися з ростом середньої ШР, тобто при скороченні кількості обмежень на рух ТЗ. У граничному випадку – при прагненні умов руху до абсолютно вільних – він повинен прагнути до нескінченності. Оскільки нормальний закон є граничним випадком гамма-розподілу з параметром форми, що прагне до нескінченності [74], висунена гіпотеза пояснює близькість розподілу ШР на міжміських АД до нормального.

Відповідно до вищеописаної гіпотези, ускладнення умов руху, що оцінюється середньою ШР ТЗ, призводитиме до зменшення параметра форми гамма-розподілу і наблизитиме його до показникового, як уже згадувалося, іншому випадку гамма-розподілу – з параметром форми, рівним 1 [74].

Ділянка ВДМ перед стоп-лінією регульованого перехрестя надає свідомо гірші умови проїзду, чим звуження проїзної частини АД, оскільки змушує частину водіїв повністю зупинятися і простоювати деякий час. Це і створює можливості для подальшої перевірки висунутої гіпотези, оскільки повинне привести до додаткового зниження параметра форми гамма-розподілу у порівнянні з попередньою ситуацією з вузькою проїзною частиною.

Тут необхідно звернути увагу на те, що випадок повної зупинки автомобіля викликатиме деякі методичні проблеми з визначенням ШР, оскільки в усіх проана-

лізованих в підрозділі 1.2 джерелах вона визначалася як моментальна швидкість руху ТЗ в заданому перетині певної ділянки. При такому підході у разі простою автомобіля в заданому перетині перед перехрестям, його моментальна швидкість деякий час дорівнюватиме нулю і треба вирішити, як враховувати цей час в натурних спостереженнях.

При простої автомобіля і чисельник, і знаменник формули (1.1) також дорівнюють нулю і, хоча математична невизначеність відношення двох нулів тут легко вирішується, все одно фіксація моментальної швидкості в ситуації з можливими простоями автомобілів залишається проблемою. Подібна ситуація вказує на необхідність розробки нового методу для заміру ШР автомобілів перед стоп-лінією перехрестя при проведенні відповідних експериментальних досліджень. Для цього потрібно:

- визначити поняття швидкості руху ТЗ в перетині АД з можливими прискореннями і уповільненнями аж до повної зупинки на деякий час;
- зробити прогноз значень параметрів гамма-розподілу при зниженні середньої ШР ТЗ впритул до ситуації, яка виникає перед стоп-лінією регульованого перехрестя;
- провести заміри фактичної ШР перед стоп-лінією регульованого перехрестя і оцінити параметри її розподілу.

Як вже згадувалося, транспортні засоби, для яких досліджуватиметься швидкість руху, повинні мати схожі швидкісні і габаритні характеристики, щоб уникнути бімодальності розподілу їх ШР. Через це об'єктом дослідження доцільно буде вибрати легкові автомобілі, до яких також можна віднести мікроавтобуси і вантажні автомобілі повною масою менше 2,5 тонн. Для таких ТЗ рух в центральних частинах міст зазвичай нічим не обмежений на відміну від великогабаритних вантажних ТЗ. Тому для забезпечення однорідних умов проведення експериментальних досліджень достатнім буде вибір в центральній частині міста вулиць, на яких відсутній рух маршрутного пасажирського транспорту, щоб в потоці не було автобусів і тролейбусів.

Прогноз параметрів гамма-розподілу при зниженні середньої ШР ТЗ по мірі наближення місця спостереження до стоп-лінії регульованого перехрестя вимагає відповіді на питання як змінюватиметься параметр форми розподілу при зміні ШР автомобілів, точніше при її зниженні внаслідок виникнення перешкод руху на АД. Параметр форми g безпосередньо визначається основними моментами випадкової ШР – середньою швидкістю \bar{v} і стандартним відхиленням σ [102]:

$$g = \left(\frac{\bar{v}}{\sigma} \right)^2. \quad (2.9)$$

Тому для прогнозу параметра форми гамма-розподілу необхідно оцінити ці моменти в різних умовах руху.

Відомими на даний момент чисельними характеристиками розподілу швидкості автомобілів можуть вважатися її параметри у вільних умовах руху, наведені в роботі [30]. Зокрема, в [30] наводиться регресійна залежність коефіцієнта варіації ШР k_v від самої швидкості в діапазоні між 18 миль/год і 35 миль/год (29 км/год і 56,4 км/год відповідно):

$$k_v = 0,448 - 0,0078 \cdot v. \quad (2.10)$$

Модель (2.10) побудована за даними близько 100 спостережень за вільним рухом автомобілів у межах міста. Фактичні значення коефіцієнта варіації для вказаного діапазону зміни швидкостей коливаються в межах від 0,17 до 0,33. Це означає, що стандартне відхилення σ для цього діапазону швидкостей складає від 5,10 миль/год до 6,93 миль/год (8,21 км/год і 11,16 км/год відповідно), тобто для вільних умов руху і максимальних швидкостей $\sigma_{\max} \ll \bar{v}_{\max}$, а відповідно до залежності (2.9) це призводить до великого значення параметра форми гамма-розподілу швидкості

$$g_{\max} \gg 1. \quad (2.11)$$

Згідно з виразом (2.9) значення параметра форми для наведених в роботі [30] коефіцієнтів варіації знаходяться в інтервалі $g \in [9,2;34,6]$. При них гамма-розподіл має практично симетричну форму. Така ситуація відповідає емпіричним спостереженням нормального розподілу ШР, що з практичної точки зору рівнозначно гамма-розподілу з великим параметром форми [102].

Виходячи із залежності (2.10), стандартне відхилення збільшується при скороченні ШР, але дуже повільно і в граничному випадку, при $\bar{v} = 0$, воно складає $\sigma = 0,448 \cdot \bar{v}$, а параметр форми розподілу дорівнюватиме $g = 4,982$. Таким чином, залежність (2.10) вказує на те, що гамма-розподіл не може набути форми показникового. Проте тут треба врахувати обмежені можливості регресійної моделі і необхідність з обережністю відноситися до результатів такого прогнозування. Це особливо актуально, коли незалежна ознака, а в даному випадку це ШР, виходить за межі статистичного ряду, на якому була побудована модель. Тому для точнішого прогнозування параметрів гамма-розподілу в ситуації зі швидкістю автомобілів перед стоп-лінією РП необхідно розглянути «проміжний» випадок з вузькою проїзною частиною.

Окремо слід зазначити, що значення моментів випадкової ШР – як в ситуації вузької проїзної частини, так і перед стоп-лінією – є результатом поведінки різних водіїв в різних умовах і сильно залежать від особливостей самих обмежень, що створюються цими умовами. Відповідно, можна дати тільки дуже приблизний прогноз значень цих моментів для ситуації зі стоп-лінією міського перехрестя.

У порівнянні з вузькою проїзною частиною, регульоване перехрестя призводить до появи частини значень ШР, дуже близьких до 0 за рахунок автомобілів, які під'їхали до перехрестя на заборонний сигнал світлофора і простоюють перед стоп-лінією в очікуванні включення сигналу, що дозволяє рух. З іншого боку, умови проїзду автомобілів на зелений сигнал мають обмеження здебільшого тільки у вигляді інших учасників руху, тому можна чекати появи у вибірковій сукупності і досить високих швидкостей. Ці міркування про розширення діапазону швидкостей

приводять до висновку про те, що стандартне відхилення ШР повинне помітно збільшитися у порівнянні з ситуацією вузької проїзної частини. Чекати значного скорочення або росту середньої швидкості проїзду автомобілями стоп-лінії регульованого перехрестя у порівнянні з вузькою ділянкою не зовсім доцільно, оскільки діапазон швидкостей тут розширюється в обидві сторони. З цих міркувань можна сформулювати припущення, що в результаті спостереження за швидкістю автомобілів перед стоп-лінією регульованого перехрестя слід очікувати зменшення параметра форми гамма-розподілу в порівнянні з ситуацією вузької проїзної частини за рахунок росту стандартного відхилення швидкостей у вибірці. Наскільки значним буде це зменшення і як близько гамма-розподіл швидкості наблизиться до свого окремого випадку – показникового розподілу – для підтвердження гіпотези великого значення не має, це тільки надасть деяку оцінку ступеню складності розглядуваної ситуації.

При розробці методики заміру швидкості руху ТЗ перед стоп-лінією міського регульованого перехрестя основним питанням є вирішення протиріччя із заміром моментальної швидкості в таких умовах. З досить великою впевненістю можна стверджувати, що моментальна швидкість як основний показник для характеристики ШР автомобілів на АД з'явилася як найпростіше рішення при прагненні охарактеризувати конкретну ділянку руху. Отримання такої характеристики є, мабуть, найактуальнішим завданням, пов'язаним із замірами швидкості в транспортних дослідженнях, і для випадку моментальної швидкості не потрібно задавати дистанції, для якої здійснюється замір. Вимагається тільки забезпечити виконання відповідних умов для проведення замірів [30] і з коректністю цих умов погоджуються всі дослідники ШР.

При розгляді ділянки ВДМ перед стоп-лінією регульованого перехрестя такі умови свідомо не виконуються і треба задати деяку дистанцію, час подолання якої і створюватиме можливість для розрахунку ШР автомобіля по формулі (1.1). Задати постійний інтервал часу для замірів положення ТЗ тут не вийде через присутність як дуже низьких, так і досить високих швидкостей їх руху, тобто через дуже широкий діапазон значень швидкості. У таких умовах будь-який постійний період фік-

сації призводитиме або до пропуску частини ТЗ в спостереженнях, або до багатократної фіксації одного ТЗ.

Вибір на місцевості відрізка з постійною довжиною також обов'язково приведе до виникнення незрозумілих ситуацій, викликаних невизначеністю дистанції від місця зупинки автомобілів до стоп-лінії. Тому в даному випадку як дистанцію, для якої вимірюється час проїзду, доцільно прийняти габарити самого проїжджачого автомобіля.

Такий підхід відрізняється від усіх попередніх, оскільки в них один з елементів формули (1.1) – або чисельник, або знаменник – є постійною величиною, а тут обидва вони змінюються в кожному замірі. Перевагою цього способу заміру ШР є те, що він дозволить точно і однозначно визначити поперечний перетин АД, в якому робиться замір швидкості, хоча і потребуватиме додаткових зусиль для визначення фактичної довжини кожного автомобіля, що проїжджає повз заданий поперечний перетин. Тоді завданням експериментальних досліджень буде визначення середньої швидкості проїзду автомобілем дистанції, рівній його довжині, через заданий перетин АД, яка надалі іменуватиметься просто швидкістю руху.

Для цього треба фіксувати два моменти часу – коли вибраний перетин перетинається передньою і задньою точкою автомобіля. Також треба фіксувати довжину автомобіля – відстань між цими точками. В умовах відсутності спеціальних приладів для виконання таких замірів найкращим способом їх проведення може послужити відеофіксація процесу руху автомобілів з наступною обробкою відеоряду. Такий спосіб, хоча і є дуже трудомістким, але дозволить забезпечити достатню точність замірів і можливість перевірки результатів експерименту.

Поперечний перетин перед стоп-лінією перехрестя для виміру ШР ТЗ треба вибрати так, щоб під час простою автомобіля при заборонному сигналі світлофора, його корпус знаходився в цьому перетині. Тоді час очікування сигналу світлофора, що дозволяє рух, враховуватиметься в швидкості проїзду автомобіля, що є обов'язковою умовою при оцінці впливу регульованого перехрестя на ШР. Враховуючи реальну довжину ТЗ, для проведення обстежень доцільно вибрати перетин вулиці на дистанції 1,5 метра перед стоп-лінією з метою виконання поставленої

умови для перших автомобілів в черзі перед перехрестям. Відеокамера при цьому повинна знаходитися безпосередньо над вибраною лінією перерізу для адекватного відбиття довжини автомобіля на відео. Такий спосіб замірів дозволяє уникнути складнощів з часом простою ТЗ перед перехрестям і забезпечить спільність ШР, що вивчається, для всіх розглядуваних умов руху.

Також слід приділити увагу тому, що інтегральним показником, що досить повно характеризує умови руху ТЗ, може виступати середня швидкість їх руху на конкретній ділянці дороги в певних умовах. Ця величина в основному залежить від поведінки водіїв в конкретній дорожній ситуації і може бути легко визначена за допомогою натурних спостережень.

Для повної характеристики ШР як випадкової величини, за результатами перевірки гіпотези про придатність гамма-розподілу для опису значень швидкості в різних умовах руху, також можна буде встановити статистичний зв'язок між середньою ШР автомобілів і параметром форми гамма-розподілу. Тоді, при підтвердженні висунутої гіпотези, знання середньої ШР також означатиме знання закону розподілу швидкості.

Крім того, з метою підвищення впевненості в спільності гіпотези про зв'язок між розподілом ШР і умовами руху його учасників, доцільно буде оцінити ШР транспортних засобів, менш схильних до впливу ускладнень умов руху на їх швидкість. Для такої оцінки можна розглянути рух, наприклад, двоколісних ТЗ перед стоп-лінією міського регульованого перехрестя. Більша свобода в русі таких ТЗ повинна привести до меншої трансформації нормально розподіленої у вільних умовах ШР, ніж це характерно для автомобілів.

При цьому необхідно усвідомлювати, що проведення активних експериментальних досліджень швидкості вимагає свідомого ускладнення умов руху ТЗ і є таким, що практично не реалізувати. Такі дії не допускаються пунктами 1.5, 1.6 і 1.8 Правил дорожнього руху України [103], які не дозволяють проводити їх без відповідних законодавчих обґрунтувань, до яких наукові дослідження не належать.

Тому експериментальні дослідження ШР повинні здійснюватися у формі пасивного експерименту – спостереження, з виконанням вимог збереження спільності умов обмеження свободи руху для усіх ТЗ.

Висновки по другому розділу

1. Для порівняльної оцінки двох альтернативних варіантів моделювання ТП ІТ в місті – на основі пропускної спроможності ділянок мережі (стандартного) і на основі затримок транспортних засобів на перехрестях (нового) – доцільно використовувати програмний продукт PTV[®] VISUM, оскільки він надає інструменти, що найбільшою мірою розкривають особливості кожного способу проведення розрахунків. При цьому порівняння альтернативних підходів слід проводити на моделі реальної транспортної мережі. Це необхідно для забезпечення можливості порівняння розрахункових ТП з їх фактичними значеннями і гарантує близькість вирішеної теоретичної задачі до проблем, що виникають в ході рішення практичних завдань моделювання.

2. У рамках нового підходу до розподілу ТП на основі затримок ТЗ на перехрестях для оцінки цих затримок доцільно використовувати VD функцію Р. Акселіка, оскільки вона є результатом дослідження реальних процесів на перехрестях, має широке практичне застосування в національному керівництві по управлінню дорожнім рухом і реалізована в спеціалізованому програмному забезпеченні.

3. Через те, що в PTV[®] VISUM для розрахунків часу подолання об'єктів мережі використовується дещо модифікована функція Р. Акселіка, що використовує величину ПС смуги руху, то при порівнянні альтернативних варіантів моделювання ТП як найбільш стабільну, надійну і перевірену оцінку цієї величини доцільно прийняти потік насичення.

4. Як критерій оцінки ефективності стандартного і нового підходів до розподілу ТП доцільно використовувати точність опису розрахунковими ТП їх фактич-

них значень. Обмеженням на умови рішення задачі повинна виступити відповідність усіх характеристик модельованого транспортного процесу їх реальним значенням на ВДМ, і в першу чергу це стосується швидкості руху по мережі.

5. При теоретичних дослідженнях закономірностей розподілу швидкості руху в міських умовах була висунена гіпотеза про те, що в найскладніших умовах руху нормальний розподіл ШР ТЗ трансформується в показниковий. Зв'язуючою ланкою при трансформації нормального розподілу в показниковий при істотному ускладненні умов руху є гамма-розподіл, оскільки показниковий розподіл є його окремим випадком з параметром форми, рівним 1, а нормальний – граничним гамма-розподілом з параметром форми, що прямує до нескінченності.

6. Зважаючи на те, що зниження швидкості ТЗ, викликане звуженням проїзної частини, не є крайньою ситуацією з точки зору ступеня зниження ШР, оскільки не вимагає обов'язкової зупинки ТЗ, то цілком обґрунтованою виглядає гіпотеза про відповідність розподілу швидкості руху ТЗ в місцях з вузькою проїзною частиною гамма-розподілу.

7. Ділянка ВДМ перед стоп-лінією регульованого перехрестя надає свідомо гірші умови проїзду, ніж звуження проїзної частини АД, оскільки змушує частину водіїв повністю зупинятися і простоювати деякий час, що створює можливості для перевірки гіпотези про зниження параметра форми гамма-розподілу в порівнянні з ситуацією вузької проїзної частини і наближення цього розподілу до свого окремого випадку – показникового.

8. При дослідженні ШР ТЗ на ділянках ВДМ перед стоп-лінією регульованого перехрестя як дистанцію, для якої вимірюється час проїзду, доцільно прийняти габарити самого проїжджаючого автомобіля. Для цього треба фіксувати два моменти часу – коли вибраний переріз перетинається передньою і задньою точкою автомобіля. Також треба фіксувати довжину автомобіля – відстань між цими точками. Ця методика, хоча і є дуже трудомісткою, але дозволить забезпечити достатню точність замірів, уникнути обмежень на умови проведення спостережень без втрати можливості порівняння результатів з іншими випадками ускладнення умов руху

ТЗ, а також забезпечить можливість перевірки результатів експериментальних досліджень.

9. Через законодавчі обмеження на проведення активних експериментальних досліджень вивчати ШР в містах необхідно за допомогою пасивного експерименту – спостереження, з виконанням вимог збереження спільності умов обмеження свободи руху для усіх ТЗ.

Основні результати проведених досліджень в рамках цього розділу опубліковані в роботах [4, 6, 8, 12].

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ В ЗОНІ ВПЛИВУ РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЬ

Метою експериментальних досліджень, що проводяться в рамках даного розділу, є перевірка висунутих в попередньому розділі гіпотез і напрацювання практичних рекомендацій по розподілу ТП по міській ВДМ в транспортній моделі. Мета розробки рекомендацій – забезпечити достатню точність розподілу ТП на міських вулицях при дотриманні коректного представлення ШР ТЗ в моделі.

Для цього спочатку необхідно визначити ефективний інструментарій експериментальних досліджень, виходячи з тих можливостей, які надає програмне забезпечення PTV[®] VISUM для складання транспортних моделей. Крім того, актуальним на цьому етапі є вибір контрольної моделі для проведення досліджень, яка повинна відповідати всім вимогам, пред'явленим до неї в попередніх розділах.

3.1 Обґрунтування вибору об'єктів та інструментарію експериментальних досліджень

Основою розрахунків для процедури перерозподілу в PTV[®] VISUM є опір шляху прямування. Основними його компонентами в моделі є опір відрізків і опір поворотів, якими описуються напрямки руху на перехрестях (вузлах) [25]. Для IT опір відрізків і поворотів визначається часом їх проїзду, залежним від часу проїзду у вільному ТП і співвідношення між інтенсивністю руху транспорту і пропускною спроможністю об'єкта мережі. В розрахунок опору може бути включена величина збору за користування платними дорогами і тоді опір шляху може бути розрахова-

ний на основі часу проїзду і вартості часу функціонування того чи іншого виду ІТ (Value of Time) та виражений в грошових одиницях [25].

Таким чином, наступним елементом моделі, що визначає результати перерозподілу, є опір шляху, тобто регульована користувачем комбінація різних параметрів. У даній роботі, коли розглядається розподіл виключно індивідуального транспорту у ВДМ без платних ділянок, єдиним елементом опору повинен виступати час поїздки.

Як було встановлено в підрозділі 2.1, для оцінки часу поїздки (часу подолання об'єктів мережі) доцільно застосовувати VD функцію Р. Акселіка, яка в інтерфейсі PTV® VISUM називається AKCELİK і використовується у вигляді залежності (2.3). Також в підрозділі 2.2 були дані оцінки часу t_0 для стандартного (на основі ПС ділянок) і нового (на основі затримок на РП) підходів до розподілу ТП. Для стандартного підходу його слід розраховувати по формулі (2.6), для нового – по формулі (2.8).

З трьох калібрувальних параметрів у формулі (2.3) невизначеними є два – b і c , оскільки тривалість періоду моделювання (параметр a) автоматично визначається параметрами моделі, в якій проводиться експеримент.

Параметру b складно надати якийсь фізичний сенс виходячи з його ролі у формулі (2.3). Це простий калібрувальний коефіцієнт (family parameter), який в PTV® VISUM має дуже широкий діапазон можливих значень, $b \in [0,1;1000]$, що вимагає обов'язкового встановлення правил його визначення в експериментальних дослідженнях.

Для цього спочатку необхідно визначитися зі значенням третього калібрувального коефіцієнта – c . Він зустрічається у (2.3) тільки як множник при потоці насичення i , таким чином, є коригувальним коефіцієнтом до ПС об'єктів мережі. Тому незважаючи на те, що в PTV® VISUM він має широкий діапазон можливих значень – $c \in [0,1;100]$, його значення не повинні сильно відрізнятись від 1 ні у більший, ні у менший бік. Заздалегідь межі його значень можна прийняти як

$$0,75 \leq c \leq 1,25. \quad (3.1)$$

Це відповідає 25-відсотковому відхиленню від ПС смуги руху, рівної потоку насичення, у більший та у менший бік. Подібні відхилення не є критичними і досяжні на практиці, про що свідчить інформація з HCM [22].

Значення коефіцієнтів b і c повинні прийматися виходячи з необхідності забезпечення близькості результатів моделювання до реальності з точки зору часу поїздки в мережі і швидкості руху ТЗ по ній. Діапазон значень цих характеристик ВДМ повинен визначатися натурними спостереженнями на реальному об'єкті.

Що стосується нерегульованих перехресть, то час їх проїзду (опір на поворотах) розраховується з використанням тієї ж VD функції AKCELIK (2.3), де t_0^n слід розглядати як калібрувальний параметр, значення якого задається виходячи з мети мінімізації відхилень між розрахунковими і реальними інтенсивностями ТП на ділянках ВДМ, що примикають до таких перехресть.

Основними вимогами, що пред'являються до транспортної моделі, на якій слід проводити експериментальні дослідження, є невеликі розміри об'єкту моделювання і його реальність. Реальність об'єкту припускає, що в моделі мають бути фактичні дані, які досить повно характеризують параметри функціонування реальної ВДМ. При цьому не вимагається, щоб модель була актуальною на сьогодні, оскільки плановані експерименти переслідують виключно пізнавальні, наукові цілі і не вимагають прийняття ніяких рішень відносно варіантів розвитку об'єкту.

Виконання іншої вимоги – до розмірів моделі – необхідне, щоб виключити з експерименту проблему великого масштабу об'єкту, тобто спростити модель і тим самим підвищити рівень інженерного сприйняття результатів експерименту.

Ще однією вимогою до моделі є висока завантаженість мережі у ній, що вступає в протиріччя з невеликими розмірами мережі, якщо розглядати модель цілого міста. У невеликих містах ВДМ зазвичай завантажені рухом не дуже сильно. Тому найбільш відповідною для проведення експерименту з порівняльної оцінки можливостей стандартного і нового підходів до моделювання ТП на мережі є розроблена в ХНАДУ модель центральної частини міста Харкова [104], рис. 3.1.

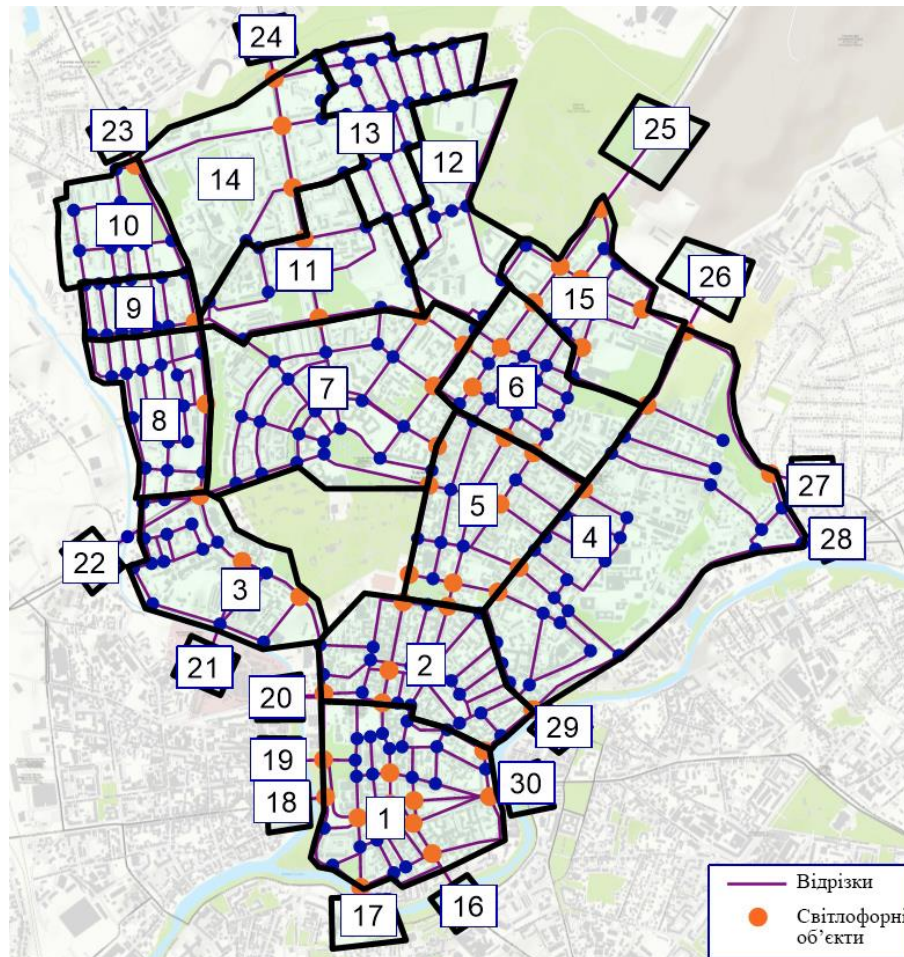


Рисунок 3.1 – Модель транспортної системи індивідуального моторизованого транспорту в центральній частині міста Харкова

Межі території в моделі послідовно проходять:

- по вул. Весніна, узвозу Журавлівському;
- по вул. Шевченка до пр. Московського;
- вздовж річки Харків до її перетину з річкою Лопань;
- вздовж річки Лопань до місця, де вона вирівнюється на карті з перехрестям вулиць Клочківської та Новгородської;
- по вул. Новгородській до перехрестя з пр. Науки;
- по річці Саржинка;
- по вул. Динамівській до перехрестя з вул. Сумською;
- по вул. Сумській до перехрестя з вул. Весніна.

Модель описує площу 12,25 км², що складає приблизно 3,5 % площі Харкова в діючих межах. Вона складається з 15 внутрішніх і 15 зовнішніх транспортних районів (ТР). Внутрішні райони розташовані на модельованій території, зовнішні – описують її входи і виходи, тобто зв'язки центру міста з периферією, що його оточує. Модель охоплює піковий період доби з 8:00 до 10:00. Інші її параметри детально описані в роботі [104].

Слід зазначити, що середня помилка моделі, яка була розрахована як відносна відхилення між реальними і фактичними ТП на 186 ділянках, склала 37 % [104]. В першу чергу, така висока похибка моделі пояснюється використанням занадто великої кількості контрольних точок, багато з яких знаходяться на другорядних ділянках ВДМ. Випадкові значення фактичних інтенсивностей в контрольних точках при порівнянні з детермінованими значеннями розрахункових ТП завжди призводять до росту помилки при збільшенні кількості контрольних точок. Тому в експерименті з оцінки можливостей альтернативних підходів до моделювання ТП для порівняння було залишено 40 значень фактичних інтенсивностей ТП на основних магістралях центральної частини міста, рис. 3.2.

Другою причиною невисокої точності моделі є не дуже глибоке занурення її розробників в параметри стандартної методики перерозподілу ТП через те, що модель створювалася для вирішення завдань транспортного планування швидше мікро-, а не макрорівня [104]. Незважаючи на це, наявна модель центральної частини Харкова повністю заснована на реальних даних і надає повний об'єм фактичної інформації, необхідний для проведення експерименту.

Особливо важливо, що для цього об'єкту моделювання існують орієнтири по фактичній швидкості руху, котрі відносяться до періоду створення моделі і наведені в роботі [105]. Виходячи із замірів фактичної швидкості руху маршрутних транспортних засобів в транспортному потоці, вийшло, що фактична швидкість ТП в центрі Харкова коливається в межах

$$V_{ТП} \in [13,1; 24,5] \text{ км/год.} \quad (3.2)$$

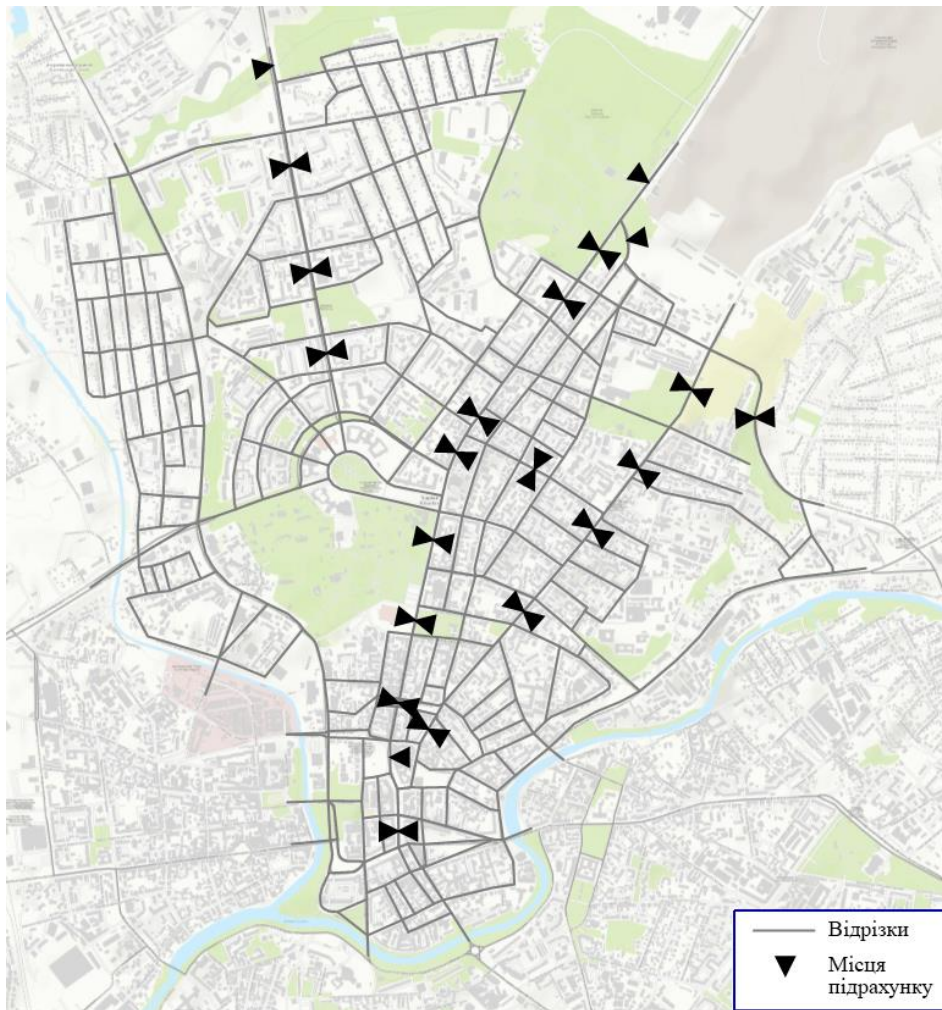


Рисунок 3.2 – Розміщення контрольних точок в моделі
центральної частини міста Харкова

Ці межі можна прийняти як межі для розрахункових значень середньої швидкості руху при виборі значень коефіцієнтів b і c в моделі.

Середня швидкість руху ТЗ досить повно характеризує результати моделювання і є суттєво більш наочною за середній час поїздки, для якого подібні орієнтири виявилися недоступні [104]. При цьому в моделі швидкість руху визначається виходячи з часу проїзду ділянок, тому виконання умови по реальності значень швидкості автоматично приведе до реальних значень середнього часу поїздки. Це робить середню швидкість руху ТЗ єдиним параметром в майбутньому експерименті, по якому оцінюється відповідність моделі реальному об'єкту.

3.2 Експериментальне дослідження впливу регульованих перехресть на швидкість руху автомобілів у міській вулично-дорожній мережі

Для кожного підходу до моделювання – стандартного і нового – з використанням процедури послідовного перерозподілу було проведено по три серії експериментів. У кожній серії з діапазону (3.1) приймалось постійне значення коефіцієнта c – рівне 0,75, 1 і 1,25. Значення коефіцієнта b приймалися так, щоб охопити весь діапазон допустимих значень швидкості (3.2). Кожна серія складалася з 9 експериментів з рівномірним розподілом коефіцієнта b по діапазону значень швидкості. Отримані в результаті ряди середньої швидкості руху ТЗ, а також досягнута в експерименті середня відносна похибка моделювання інтенсивностей ТП $\Delta_{ТП}$ (оцінювана по формулі (2.5)) приведені в табл. 3.1 і 3.2.

Таблиця 3.1 – Діапазони зміни коефіцієнта b і швидкості, км/год, при стандартному підході

Випробування	$c = 1,25$			$c = 1,0$			$c = 0,75$		
	b	$V_{ТП}$	$\Delta_{ТП}, \%$	b	$V_{ТП}$	$\Delta_{ТП}, \%$	b	$V_{ТП}$	$\Delta_{ТП}, \%$
1	14	24,4	26	7,5	24,4	26,2	0,1	22,3	35,3
2	17	22,3	26,6	9,9	22,5	27	1,4	21,5	32,6
3	20	19,8	28,6	12,2	20,3	26,5	2,7	20,3	27,5
4	23	18,1	28,6	14,6	17,7	28,4	4	18,7	25,1
5	26	17,2	27,6	17	15,9	28,7	5,3	17,6	26,9
6	29	16,1	28,7	19,4	15,1	29	6,6	16,5	26,7
7	32	15	29,7	21,7	14,9	26	7,9	14,6	30
8	35	14,7	31,5	24,1	13,8	28,8	9,2	14	31,3
9	38	13,1	31,3	26,5	13,1	31,4	10,5	13	32,8

Характеристики варіації параметра b і середньої швидкості руху – розмах варіації і стандартне відхилення – при стандартному і новому підходах до розподілу ТП приведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.2 – Діапазони зміни коефіцієнта b і швидкості, км/год, при новому підході

Випро- бування	$c = 1,25$			$c = 1,0$			$c = 0,75$		
	b	$V_{ТП}$	$\Delta_{ТП}, \%$	b	$V_{ТП}$	$\Delta_{ТП}, \%$	b	$V_{ТП}$	$\Delta_{ТП}, \%$
1	3	24,5	21,7	1	23,9	22,4	2	21,8	16,4
2	10,5	21,6	22,6	7	21,3	22,5	4,8	19,8	21,2
3	18	19,7	25,8	13	19,4	26,3	7,5	18,4	26,6
4	25,5	18,1	31	19	17,6	30,8	10,3	16,5	29
5	33	16,8	27,8	25	16,2	28	13	15,9	30,1
6	40,5	15,6	32,4	31	15,1	30,9	15,8	14,7	29,2
7	48	14,8	30,9	37	14,2	31,1	18,5	14,3	26,5
8	55,5	14,2	33,4	43	13,7	35,1	21,3	13,8	30,3
9	63	13,4	34,4	49	13	35,4	24	13	35,4

Таблиця 3.3 – Характеристика варіації коефіцієнта b і швидкості, км/год, за результатами експерименту

Показник	$c = 1,25$		$c = 1,0$		$c = 0,75$	
	b	$V_{ТП}$	$\Delta_{ТП}, \%$	b	$V_{ТП}$	$\Delta_{ТП}, \%$
Стандартний підхід до розподілу ТП – на основі пропускнуої спроможності відрізків						
Розмах варіації	24	11,2	19	11,4	10,4	9,3
Стандартне відхилення	7,7	3,5	6,1	3,8	3,4	3,2
Новий підхід до розподілу ТП – на основі затримок на регульованих перехрестях						
Розмах варіації	60	11,1	48	10,9	22	8,8
Стандартне відхилення	19,4	3,5	15,5	3,5	7,1	2,8

Як видно з табл. 3.1-3.3, новий підхід до розподілу ТП надає можливість точнішого налаштування моделі на реальні значення швидкості руху ТЗ, оскільки в цьому підході при дуже схожих характеристиках варіації $V_{ТП}$ діапазон значень параметра b набагато ширший.

За результатами побудови графіків в системах координат $(b;c;\Delta_{ТП})$ і $(b;c;V_{ТП})$ за допомогою програми STATISTICA 10 [106], рис. 3.3, 3.4, можна помітити, що зміна точності розрахунку інтенсивностей ТП і швидкості руху ТЗ при новому підході відбувається більш рівномірно, ніж при стандартному.

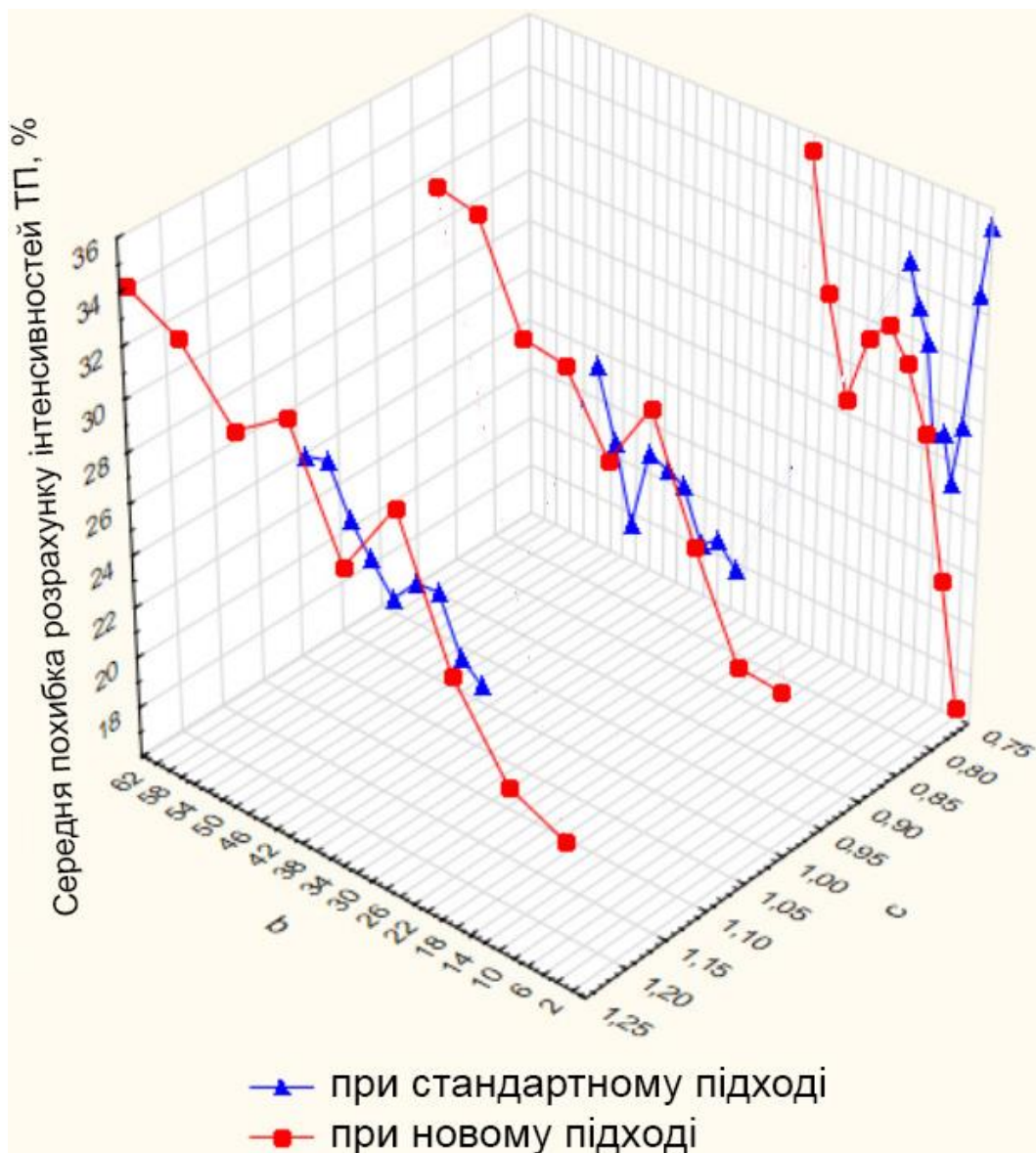


Рисунок 3.3 – Відносна помилка моделі $\Delta_{ТП}$

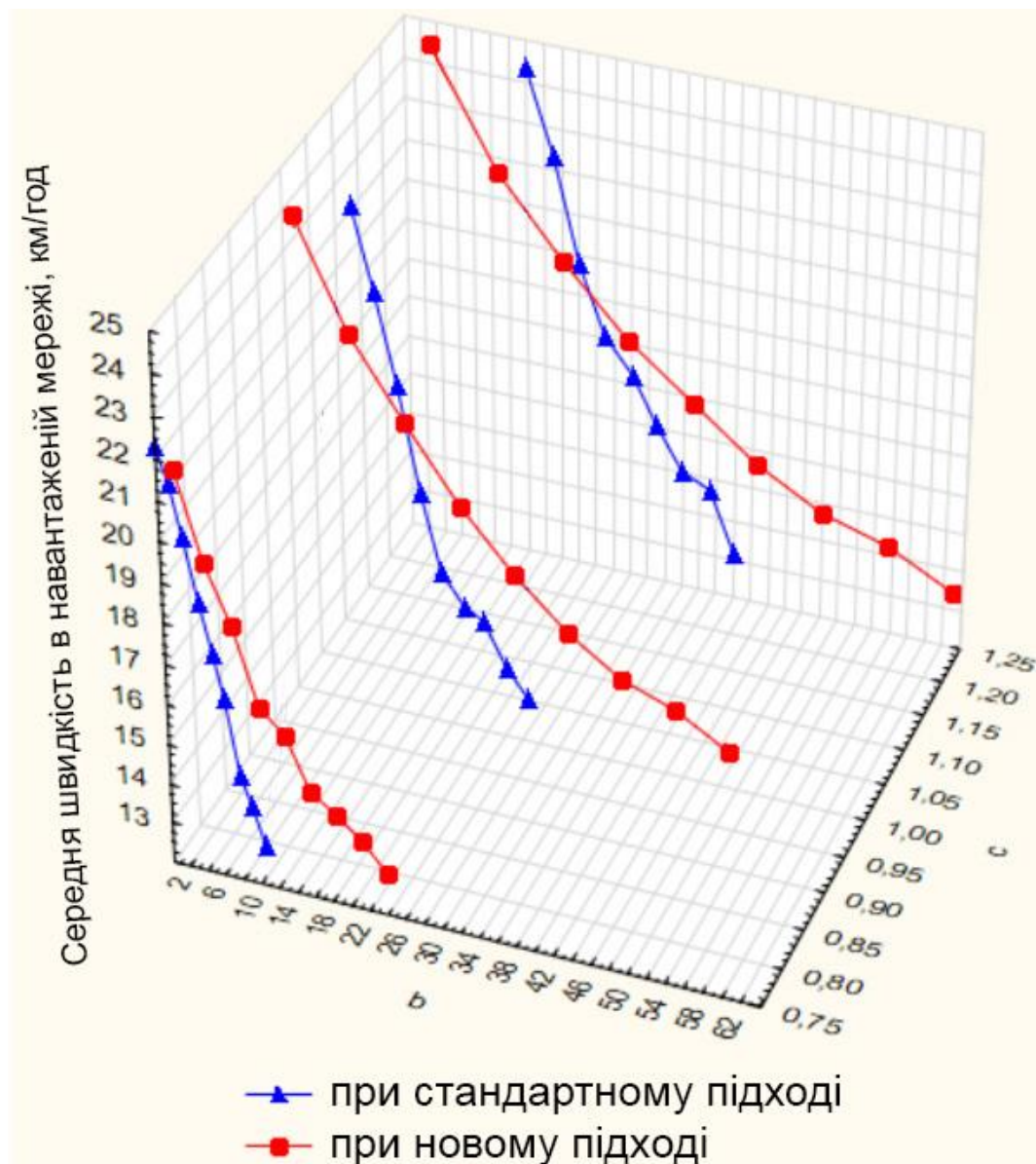


Рисунок 3.4 – Середня швидкість ТП $V_{ТП}$

З інженерної точки зору це можна трактувати як більш прогнозований вплив параметрів b і c на результати моделювання, що вказує на перевагу застосування нового підходу в інженерних завданнях.

Окремо слід зазначити той факт, що при застосуванні нового підходу можна досягти більшої точності розрахунку інтенсивностей ТП, адже при ньому мінімальне значення $\Delta_{ТП}$ складає 16,4 %, що відчутно менше ніж $\min(\Delta_{ТП}) = 25,1$ % при стандартному підході. Це вказує на істотну перевагу нового підходу до розподілу ТП, оскільки саме він дає можливість забезпечити відповідність результатів транс-

портного моделювання відразу двом фактичним показникам функціонування транспортної системи – середній швидкості руху ТЗ та інтенсивності ТП. Цього не можна сказати про стандартний підхід, при якому модель забезпечує досягнення або реальних швидкостей ТП, або (теоретично) інтенсивностей.

Подібний результат приводить, з одного боку, до очевидного, а з іншого – до досить важливого міркування про те, що транспортна модель при хорошій відповідності одному фактичному параметру функціонування об'єкта може давати істотні погрішності в інших параметрах. Так, за результатами експерименту при значних коливаннях інтенсивності транспортних потоків, які можна охарактеризувати помилкою їх розрахунку $\Delta_{ТП}$, середня $V_{ТП}$ може знаходитися в межах допустимих реальних значень. З великою ймовірністю цей висновок має і зворотну силу – поширене прагнення розробників транспортних моделей забезпечити високу точність розрахунку інтенсивності ТП може привести до істотних похибок в значеннях швидкості.

Новий підхід до розподілу ТП дозволяє уникнути подібного недоліку і при цьому відчутно обмежує діапазон практично прийнятних значень параметрів b і c VD функції AKCELİK – параметр b слід приймати рівним не більше 5 ($b \leq 5$), а параметр c варіювати в околі 0,75. Також слід звернути увагу на те, що при новому підході функція AKCELİK застосовується в моделі для розрахунку опору таких об'єктів мережі, як повороти, котрі в реальному об'єкті відповідають напрямкам руху на перехрестях. Рух по цих напрямках, особливо в центральних частинах міст і на РП, найчастіше реалізується по одній, рідше – двом смугам. У цих умовах виявлені прийнятні значення параметра $c \approx 0,75$ є додатковим аргументом на користь близькості нового підходу до реальності, адже у функції AKCELİK коефіцієнт 0,75 при потоці насичення робить ПС смуг, використовуваних при здійсненні маневрів на перехрестях, ближче до реальних її значень в міських умовах.

За отриманими результатами виходить, що новий підхід до розподілу ТП в міських транспортних мережах забезпечує кращі результати моделювання, ніж стандартний, і підкреслює істотний вплив РП на швидкість ТП в містах. При цьому окремо слід звернути увагу на важливість врахування при моделюванні такого

показника, як швидкість руху ТЗ, оскільки зовсім не завжди транспортна модель, забезпечуючи точність розрахунку інтенсивностей ТП, може точно відобразити швидкість проїзду по транспортній мережі.

Після отримання в PTV[®] VISUM середніх значень ШР ТЗ між ТР можна перейти до наступного етапу досліджень, а саме вивчення закономірностей розподілу швидкості в різних умовах руху за допомогою експериментальної перевірки гіпотез, висунутих в підрозділі 2.3.

3.3 Визначення закономірностей розподілу швидкості руху транспортних засобів у міських умовах

При перевірці гіпотези про те, що в найскладніших з точки зору швидкості умовах руху нормальний розподіл ШР ТЗ трансформується в показниковий, в підрозділі 2.3 була проаналізована залежність (2.10), згідно з якою гамма-розподіл не може набути форми показникового. При цьому було звернено увагу на обмежені можливості регресійної моделі (2.10), особливо в ситуації, коли ШР виходить за межі статистичного ряду, на якому була побудована модель. В результаті для точнішого прогнозування параметрів гамма-розподілу ШР автомобілів перед стоп-лінією регульованого перехрестя виникла необхідність дослідження «проміжного» випадку ускладнених умов руху, а саме ситуації з вузькою проїзною частиною.

Це дослідження повинне проводитися на перегоні вулиці поза зоною впливу перехрестя, якими починається і закінчується перегін. Тут необхідно відмітити, що з точки зору досліджуваного параметра – ШР ТЗ в ускладнених умовах, – це означає, що в загальному випадку вона має бути вище на під'їзді до вузької ділянки руху і після її проїзду. Тобто ця ділянка має бути досить далеко як від попереднього перехрестя, щоб водії встигали набрати занадто високу для вузької ділянки швидкість, так і до наступного перехрестя, щоб водіям був сенс збільшувати ШР при русі по ділянці вулиці, що залишилася до перехрестя (чи до черги перед ним).

Сучасні умови управління дорожнім рухом в містах України не забезпечують вченим можливостей для проведення активного експерименту шляхом штучного створення обмежених умов руху на міських вулицях. Знайти в природних міських умовах придатні для дослідження ділянки з недостатньою для вільного проїзду шириною проїзної частини можливо на відносно вузьких вулицях з однією смугою руху в кожному напрямі. Така ситуація часто виникає на центральних вулицях міст внаслідок заняття крайніх правих смуг припаркованими автомобілями, проте іншою характерною рисою центральної частини міста є щільна забудова і викликані цим короткі перегони між перехрещеннями в одному рівні з іншими потоками (транспортними або пішохідними).

Ці умови створюють необхідність пошуку не стільки ділянки вулиці з вузькою смугою руху, скільки «вузького місця» на проїзній частині, яке може виникнути, наприклад, внаслідок неправильного паркування якогось автомобіля. Така ситуація, звичайно, унеможливорює вивчення звикання водіїв до цієї ширини смуги руху внаслідок багатократного її подолання, але дозволяє досить повно охарактеризувати першу реакцію водіїв на звуження проїзної частини.

Внаслідок поточного рівня культури водіння учасників руху ситуації з виникненням «вузького місця» на центральних вулицях Харкова виникають досить часто. В той же час це не означає, що всі вони створюють умови для проведення спостережень за реакцією водія на звуження проїзної частини – така подія має бути досить тривалою, щоб відповідну ситуацію можна було не лише зафіксувати, але й кількісно охарактеризувати, тобто виміряти ширину доступної проїзної частини і організувати відеозйомку процесу руху в цих умовах.

Також треба щоб ширина доступної проїзної частини потрапила в дуже вузький діапазон з невідомими на початок експерименту межами, тобто перед початком експерименту відомі тільки якісні вимоги до вузького місця – з одного боку, воно має бути досить широким для проїзду автомобілів, з іншого – недостатньо широким для вільного проїзду і примушувати хоча б частину водіїв знижувати ШР.

Сукупність усіх перелічених вище вимог до організації експериментальної перевірки висунутої гіпотези привела до вибору в місті Харкові як потенційно при-

датної для спостережень ділянки перегону вулиці Ярослава Мудрого між вулицями Алчевських і Чернишевською, рис. 3.5.



Рисунок 3.5 – Ділянка вулиці Ярослава Мудрого, обрана для проведення експериментальних досліджень

Довжина ділянки між стоп-лініями перехресть, що обмежують його, складає трохи більше 170 м. Відстань від стоп-лінії попереднього перехрестя, достатня для розгону автомобіля до швидкості 55 км/год (15,5 м/с) зі стандартним прискоренням 2 м/с^2 , складає близько 60 м. При довжині черги перед наступним перехрестям не більше 10 автомобілів, для виникнення «вузького місця» на цій ділянці ще залишається не менше 40 м, на яких можуть виконуватися всі необхідні для проведення експерименту умови. При цьому для забезпечення чистоти експерименту, тобто фіксації ШР саме у вузькому місці, в кожному випадку необхідно стежити за тим, щоб автомобіль знижував ШР перед звуженням проїзної частини і збільшував швидкість після його подолання.

Для створення «вузького місця» потрібна відносна свобода руху по вибраній для експерименту смузі при постійно зайнятій зустрічній смузі, що і створює ускладнені умови руху. Напрямок руху по вул. Ярослава Мудрого в бік вул. Алчев-

ських впродовж робочого дня зазвичай є більш завантаженим, ніж зустрічний, що обумовлено структурою транспортного попиту і вулично-дорожньої мережі м. Харкова. Тому об'єктом спостережень повинна стати смуга руху автомобілів, що прямують у бік вул. Чернишевської.

У звичайних умовах руху припарковані автомобілі не настільки сильно звужують проїжджу частину на цій ділянці, щоб змушувати водіїв знижувати швидкість руху, тому для проведення експерименту довелося чекати, коли на ділянці виникнуть необхідні умови. Це сталося вранці 16 березня 2018 року, коли через те, що напередодні пройшов сильний снігопад, ширина проїзної частини сильно звужилась і між припаркованими вздовж узбіччя з двох сторін автомобілями залишилося всього 5,45 м проїзної частини для двох зустрічних потоків автомобілів, рис. 3.6. Ширина проїзної частини вимірювалася між дзеркалами автомобілів, що стоять на протилежних сторонах ділянки.



Рисунок 3.6 – Умови проведення експерименту з оцінки впливу ширини проїзної частини на швидкість руху автомобілів

Відеоспостереження за процесом руху автомобілів по вул. Ярослава Мудрого в бік вул. Чернишевської тривало з 8:30 до 10:16 ранку, поки зберігалися необхідні для проведення експерименту умови, у тому числі постійно зайнята чергою автомобілів зустрічна смуга. За цей час через вузьку ділянку проїхало 225 автомобілів,

проте для 9 з них не були виконані умови вільного руху після «вузького місця» через велику чергу перед перехрестям вулиць Ярослава Мудрого і Чернишевською.

Обробка відеоспостереження включала розрахунок часу проїзду передньою точкою проїжджаючого автомобіля повз передню і задню точки припаркованого біля узбіччя сірого автомобіля, довжина якого складає 4375 мм. Точність визначення часу проїзду складає 1/30 секунди, загальні результати обробки представлені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Статистична характеристика значень швидкості руху автомобілів по вузькій смузі

Параметр	Значення
Кількість спостережень, од.	216
Мінімальне значення швидкості, м/с	1,32
Максимальне значення швидкості, м/с	12,50
Середня швидкість, м/с	5,99
Стандартне відхилення, м/с	2,32
Параметр масштабу гамма-розподілу	0,899
Параметр форми гамма-розподілу	6,666

Як видно з таблиці, швидкість проїзду вузького місця різними водіями коливається в досить широких межах, що може бути викликано не лише поведінкою водіїв в умовах вузької проїзної частини, але і впливом автомобілів з черги на зустрічній смузі.

Середнє значення швидкості – 21,57 км/год – істотно відрізняється від аналогічних значень середньої швидкості на міських вулицях у вільних умовах руху – 30,25 км/год [63], 58,9 км/год [64] і 47,66 км/год [66]. Цей факт підтверджує істотний вплив ширини проїзної частини (смути) на швидкість руху автомобілів. Цей вплив також добре помітний на відеозйомці – там чітко видно, як після розгону від перехрестя автомобілі знижують швидкість перед звуженням проїзної частини.

Суперечливі результати попередніх досліджень впливу ширини проїзної частини на ШР, мабуть, пояснюються занадто вузьким діапазоном зміни параметра, що в даному випадку впливає на швидкість. Ширина проїзної частини в них змінювалася в межах між її мінімальним значенням, що допускає проїзд ТЗ, і «комфортним».

Отримане середнє значення швидкості є також додатковим підтвердженням адекватності розрахункових параметрів ТП, отриманих в підрозділі 3.2 в моделі транспортної системи ІТ в центральній частині м. Харкова.

Результати проведеного спостереження забезпечили достатню кількість даних для статистичної оцінки гіпотези, висунутої в підрозділі 2.3. Перевірка відповідності отриманого ряду значень швидкості теоретичному гамма-розподілу була проведена в програмі STATISTICA 10 [106] за допомогою критеріїв Колмогорова-Смирнова і χ^2 Пірсона, рис. 3.7.

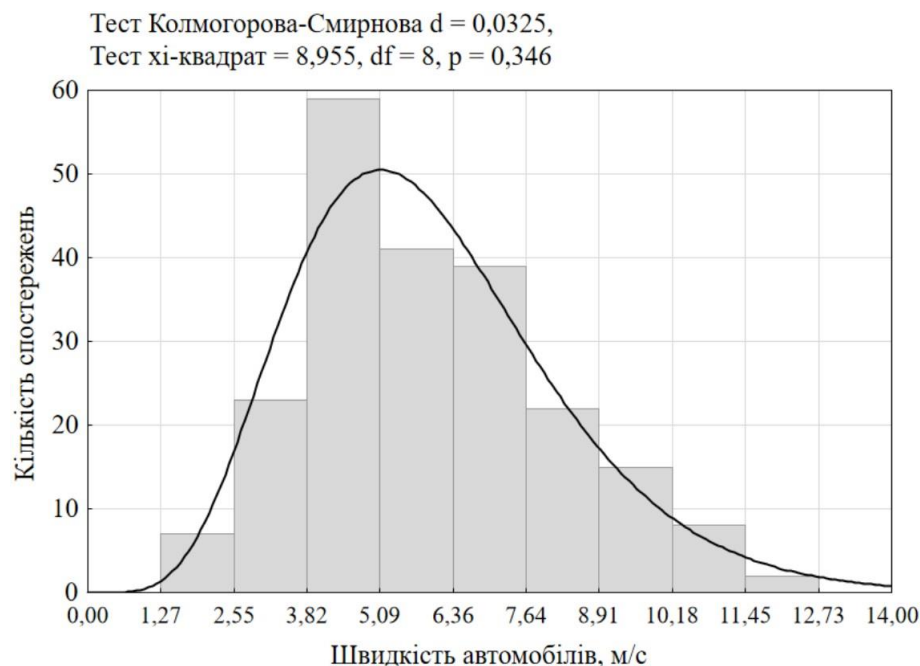


Рисунок 3.7 – Результат підбору гамма-розподілу для опису швидкості руху автомобілів у «вузькому місці»

Значення обох критеріїв вказують на те, що гіпотеза про відповідність емпіричного розподілу швидкості проїзду автомобілями вузької ділянки дороги гамма-

розподілу не спростовується, що можна вважати позитивним результатом її експериментальної перевірки. Для визначення ступеню віддаленості отриманих закономірностей від нормального розподілу швидкості вільного руху автомобілів також була проведена оцінка можливості опису отриманих значень швидкості нормальним законом. Позитивного результату підбору вдалося добитися на гранично малій для критерію Пірсона кількості інтервалів розбиття діапазону зафіксованих значень досліджуваної ВВ, рис. 3.8.

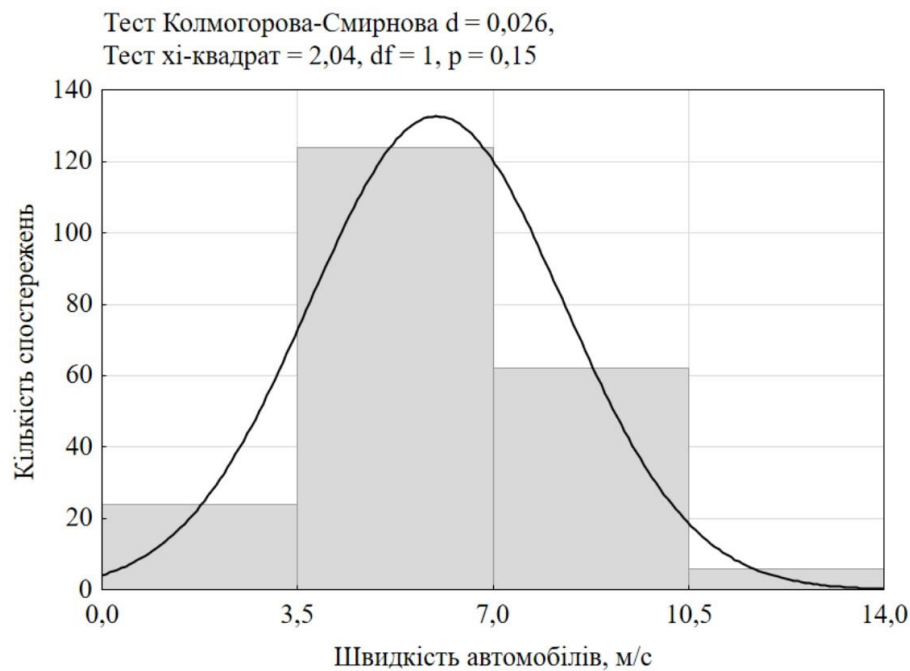


Рисунок 3.8 – Результат підбору нормального закону розподілу при описі швидкості руху автомобілів у «вузькому місці»

Таке «граничне» неспростування гіпотези про відповідність емпіричного розподілу швидкості проїзду автомобілями вузької ділянки дороги нормальному закону навряд чи можна вважати достатнім для підтвердження відповідної гіпотези. Цей результат більшою мірою свідчить на користь міркувань про спільність гамма-і нормального розподілів, які лягли в основу гіпотези про гамма-розподіл швидкість автомобілів в ускладнених умовах вузької проїзної частини АД.

До цього можна додати те, що за результатами проведеного спостереження середня швидкість автомобілів впала до 21,56 км/год і це значення менше, ніж ті, на яких була побудована модель (2.10), що послужила для теоретичних досліджень в підрозділі 2.3. Стандартне відхилення при цьому залишилося в межах, вказаних в роботі [38] – 8,35 км/год. Параметр форми гамма-розподілу, рівний 6,666, зменшився у порівнянні з вільними умовами руху за рахунок зниження ШР і дещо наблизився до одиниці. Ці тенденції відповідають гіпотезі про гамма-розподіл ШР, але надають дуже обмежені вказівки для прогнозування типу розподілу в інших умовах.

Тут треба відмітити, що значення порівнюваних моментів випадкової ШР є результатом поведінки різних водіїв у різних умовах, а також сильно залежать від особливостей самих обмежень цих умов. Відповідно, аналіз результатів проведеного спостереження не дає можливості зробити точний прогноз значень цих моментів для ситуації із стоп-лінією міського перехрестя.

При переході до експериментальної оцінки швидкості руху автомобілів перед стоп-лінією міського регульованого перехрестя також виникає питання вибору перехрестя для проведення спостережень. Ключовим моментом, що визначив цей вибір, стала можливість проведення відеоспостереження в заданих в підрозділі 2.3 умовах – за 1,5 метра перед стоп-лінією під прямим кутом до напрямку руху проїжджаючих автомобілів.

Така можливість була знайдена на перехресті вулиці Ярослава Мудрого з вулицею Алчевських при під'їзді з боку вулиці Чернишевської в м. Харків, рис. 3.9.

Тривалість циклу світлофорного регулювання на перехресті складає 60 с, з яких фаза, яка дозволяє рух для обраного напрямку руху (на рис. 3.9 – справа наліво) складає 20 с. Обстеження проводилося три години, з 8:15 до 11:15 ранку, і охопило більше чотирьох сотень автомобілів.

Обробка відеоспостереження включала фіксацію часу перетину обраного перетину спочатку передньою, а потім задньою точками автомобіля, і замір довжини автомобіля за допомогою безкоштовної екранної лінійки «mySize» [107]. Загальні результати обробки представлені в табл. 3.5.



Рисунок 3.9 – Ділянка вулиці Ярослава Мудрого, обрана для проведення експерименту, з вказівкою перетину дороги для спостережень за ШР

Таблиця 3.5 – Статистична характеристика значень швидкості руху автомобілів перед стоп-лінією перехрестя вул. Я. Мудрого і вул. Алчевських

Параметр	Значення
Кількість спостережень, од.	403
Мінімальне значення швидкості, м/с	0,07
Максимальне значення швидкості, м/с	19,12
Середня швидкість, м/с	5,30
Стандартне відхилення, м/с	4,94
Параметр масштабу гамма-розподілу	4,602
Параметр форми гамма-розподілу	1,152

З таблиці виходить, що середня швидкість проїзду ділянки завдовжки в габарит автомобіля через поперечний перетин вул. Ярослава Мудрого перед стоп-лінією регульованого перехрестя з вул. Алчевських дещо знизилася в порівнянні зі швидкістю проїзду «вузького місця». Сильно, більш ніж в два рази, зросло стандар-

тне відхилення ШР, що цілком можна пояснити помітним розширенням діапазону її коливань. У той же час, отримане середнє значення ШР в центральній частині м. Харкова – 19,08 км/год – ще раз підтверджує адекватність транспортної моделі, використаної для експериментальних досліджень в підрозділі 3.2, і отримуваних за її допомогою характеристик ТП, в т.ч. їх швидкості.

Зафіксовані в ході представлених спостережень серйозні зміни основних моментів випадкової величини ШР вказують на значну зміну параметрів гамма-розподілу – сильно виріс параметр масштабу, а параметр форми сильно знизився і наблизився впритул до 1.

Перевірка відповідності отриманого ряду значень швидкості теоретичному гамма-розподілу була проведена в програмі STATISTICA 10 [106] за допомогою критерію Колмогорова-Смирнова, рис. 3.10.

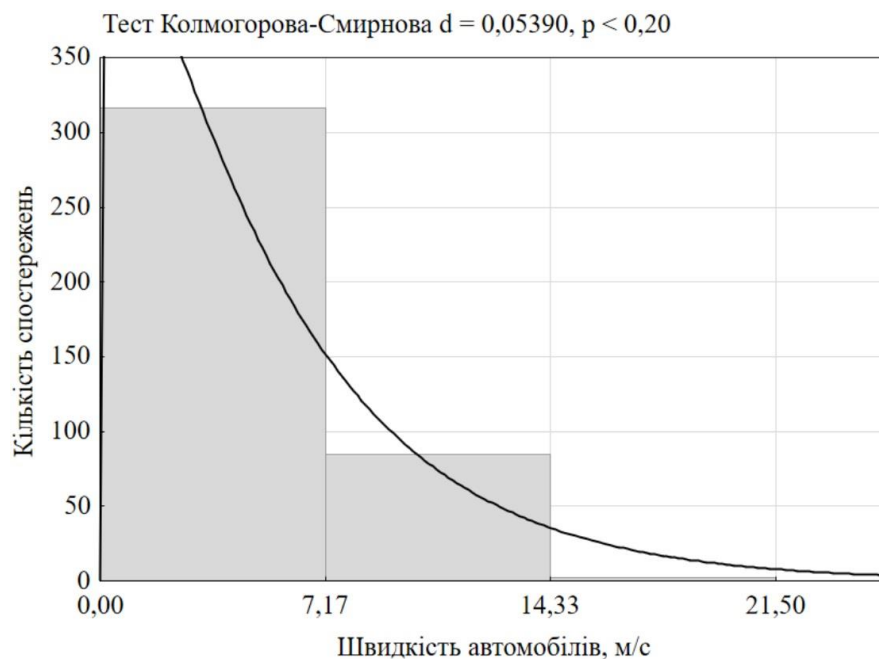


Рисунок 3.10 – Результат підбору гамма-розподілу при описі швидкості руху автомобілів перед стоп-лінією регульованого перехрестя

Позитивних результатів підбору для рівня значущості критерію Колмогорова-Смирнова 5 % вдалося добитися тільки при розбитті статистичного ряду на 3 інтервали. Критерій Пірсона для таких умов виявився неінформативним. Гіпотеза про

відповідність коливань ШР перед стоп-лінією РП на прикладі перехрестя вулиць Ярослава Мудрого і Алчевських гамма-розподілу також не відхиляється аж до рівня значущості критерію Колмогорова-Смирнова 15 %.

Такий результат перевірки гіпотези про можливість опису коливань ШР гамма-розподілом з урахуванням не найвищої ймовірності критерію Колмогорова-Смирнова (меншої за 20 %) можна прийняти як попередньо позитивний. У подібних умовах одноразове невідхилення згаданої гіпотези не слід розглядати як її однозначне підтвердження. Це свідчить про необхідність проведення додаткових спостережень за швидкістю автомобілів перед стоп-лінією регульованого перехрестя. При цьому узагальнення результатів можна досягти не лише за рахунок розгляду інших циклів світлофорного регулювання, але і за рахунок пошуку і дослідження інших перешкод вільному руху автомобілів.

Близькість параметра форми гамма-розподілу до одиниці також створює можливість для перевірки гіпотези про відповідність отриманого статистичного ряду ШР показниковому закону, рис. 3.11.

У випадку показникового розподілу значущість критерію Колмогорова-Смирнова при тому ж розбитті статистичного ряду на 3 інтервали знизилася до рівня менше 15 %.

З точки зору гіпотези про можливість опису емпіричного розподілу швидкості проїзду автомобілями поперечного перетину дороги перед стоп-лінією регульованого перехрестя показниковим розподілом такий результат можна вважати тільки одноразовим неспростуванням гіпотези, але не її остаточним підтвердженням. У такому випадку доцільно продовжити дослідження розподілу ШР в ще більш ускладнених з точки зору швидкості умовах для перевірки відповідності ШР окремому випадку гамма-розподілу – показниковому.

Такі дослідження будуть продовженням перевірки загальної гіпотези про можливість використання гамма-розподілу для опису ШР ТЗ в різних дорожніх ситуаціях і про зв'язок між умовами руху і параметром форми цього розподілу.

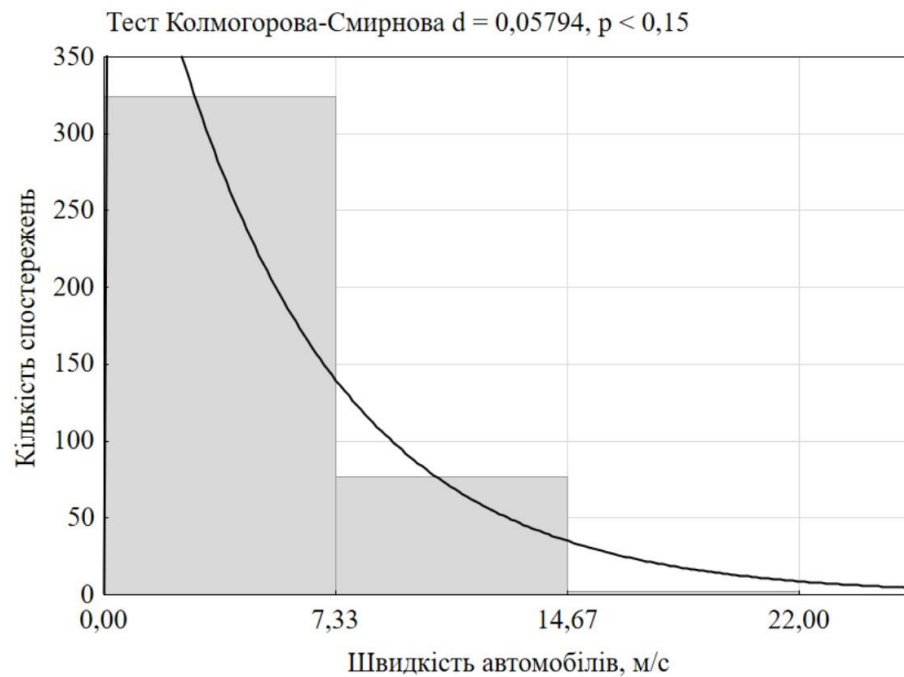


Рисунок 3.11 – Результат підбору показникового розподілу при описі швидкості руху автомобілів перед стоп-лінією регульованого перехрестя

Ситуація, що відповідає умовам руху, складнішим аніж розглянуті вище, також може виникнути перед стоп-лінією міського регульованого перехрестя. Ускладнення умов руху тут можна спостерігати при розгляді такого підходу до перехрестя, в якому як частка зеленого сигналу в тривалості циклу, так і його абсолютна тривалість будуть меншими, ніж аналогічні вже розглянуті показники тривалості циклу світлофорного регулювання і його елементів. Спостереження за ШР в таких умовах дадуть можливість розширити межі статистичного ряду експериментальних значень для проведення регресійного аналізу і встановлення шуканого зв'язку між умовами руху і параметром форми гамма-розподілу. Оціночною характеристикою ШР в такому випадку також буде середня швидкість проїзду корпусом автомобіля поперечного перетину дороги перед стоп-лінією перехрестя, методика заміру якої описана в підрозділі 2.3.

Ускладнення умов проїзду автомобілями світлофорного об'єкту в місті можна спостерігати, якщо обрати для обстеження другорядний напрям на міському регульованому перехресті з тривалим циклом світлофорного регулювання. Цим умо-

вам в м. Харків відповідає примикання проспекту Перемоги до вулиці Клочківської, на якому дві смуги руху призначені для повороту ліворуч і для виконання якогось в циклі виділений основний такт, рис. 3.12.

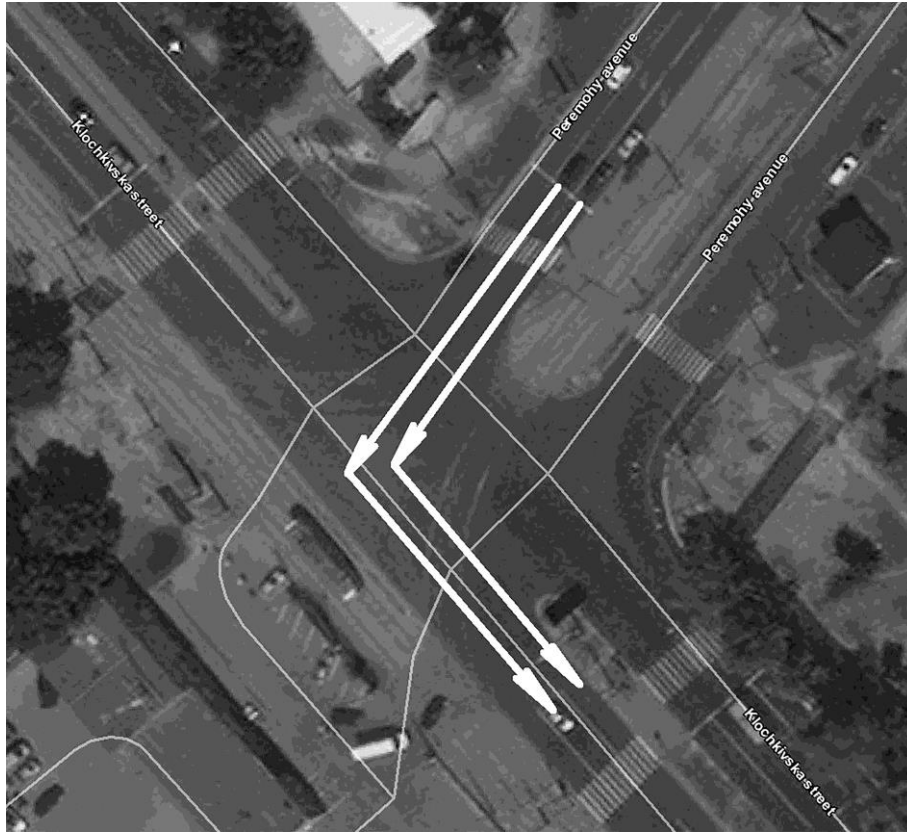


Рисунок 3.12 – Ділянка проспекту Перемоги, обрана для проведення спостережень за ШР автомобілів

Це примикання має велику площу і хороше дорожнє покриття, що забезпечує досить вільні умови руху на самому об'єкті, тобто не обмежує ШР автомобілів при старті від стоп-лінії і подальшому розгоні. Тому умови спостереження за ШР автомобілів безпосередньо перед стоп-лінією можна вважати схожими з умовами руху автомобілів в попередньому експерименті.

В той же час умови світлофорного регулювання на обраному напрямі обстеження помітно відрізняються від аналогічних умов в попередньому експерименті (на перехресті вул. Ярослава Мудрого і вул. Алчевських), табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Характеристика циклів світлофорного регулювання

Назва перехрестя	Тривалість, с		Доля фази, що дозволяє рух, в циклі, %
	циклу	фази, що дозволяє рух	
вул. Я. Мудрого – вул. Алчевських	60	20	33,3
пр. Перемоги – вул. Клочківська	90	16	17,8

Як видно з таблиці, тривалість фази, що дозволяє рух на обраному на новому перехресті напрямку, не є гранично малою і рівна 16 с. Це на 20 % менше, ніж на раніше обстеженому перехресті, проте доля цієї фази в циклі для досліджуваного напрямку скоротилася істотно – практично удвічі – і це створює достатні підстави для проведення обстеження на перехресті пр. Перемоги і вул. Клочківської, оскільки воно розширить ряд швидкостей, що характеризує міські умови проїзду.

На цьому РП спостереження проводилися впродовж однієї години робочого дня – п'ятниці, 10 січня 2020 року – за допомогою відеофіксації процесу проїзду автомобілями поперечного перетину пр. Перемоги безпосередньо перед стоп-лінією перехрестя по двох смугах. В результаті обробки відеоматеріалів отримано 260 значень часу проїзду автомобілями власного габариту (довжини) через поперечний перетин дороги і, власне, значень цього габариту, для опису яких був здійснений пошук найбільш відповідного закону розподілу, рис. 3.13.

Відповідність розподілу довжини охоплених спостереженням автомобілів нормальному закону була підтверджена значенням критерію Колмогорова-Смирнова, яке виявилось значно меншим за табличне, рівне 0,381 на рівні значущості 20 % [108]. Це свідчить про правомірність використання отриманого набору спостережень для формування масиву ШР перед стоп-лінією міського регульованого перехрестя в нових, більш ускладнених умовах, табл. 3.7.

Наведені в табл. 3.7 значення відповідають гіпотезі про те, що при зниженні середньої ШР ТЗ відбувається відносний ріст її стандартного відхилення, що зрештою призводить до зниження параметра форми. У порівнянні з попереднім спостереженням середня швидкість зменшилася з 5,30 м/с до 2,42 м/с, тобто в 2,2 рази, а

стандартне відхилення з 4,94 м/с до 3,00 м/с, тобто в 1,45 рази. В той же час, співвідношення між середнім значенням швидкості і її стандартним відхиленням виявилось таким, що зрештою привело до параметра форми гамма-розподілу, меншого за 1. При використанні методу моментів результати підбору теоретичного гамма-розподілу виявилися незадовільними, рис. 3.14, проте при використанні методу максимальної правдоподібності результати підбору переконливо свідчать про можливість використання гамма-розподілу для опису ШР автомобілів, рис. 3.15.

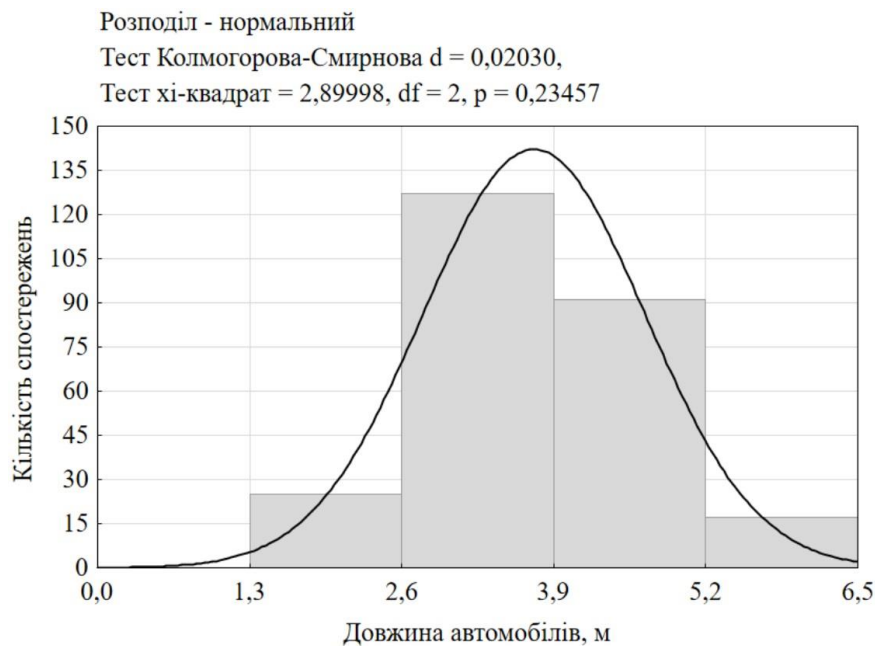


Рисунок 3.13 – Розподіл довжини корпусу охоплених спостереженням автомобілів

Таблиця 3.7 – Статистична характеристика значень швидкості руху автомобілів перед стоп-лінією перехрестя ін. Перемоги і вул. Клочківської

Характеристика вибірки	Значення
Кількість спостережень, од.	260
Мінімальне значення швидкості, м/с	0,03
Максимальне значення швидкості, м/с	11,50
Середня швидкість, м/с	2,423
Стандартне відхилення, м/с	3,005
Параметр масштабу гамма-розподілу	3,719
Параметр форми гамма-розподілу	0,651

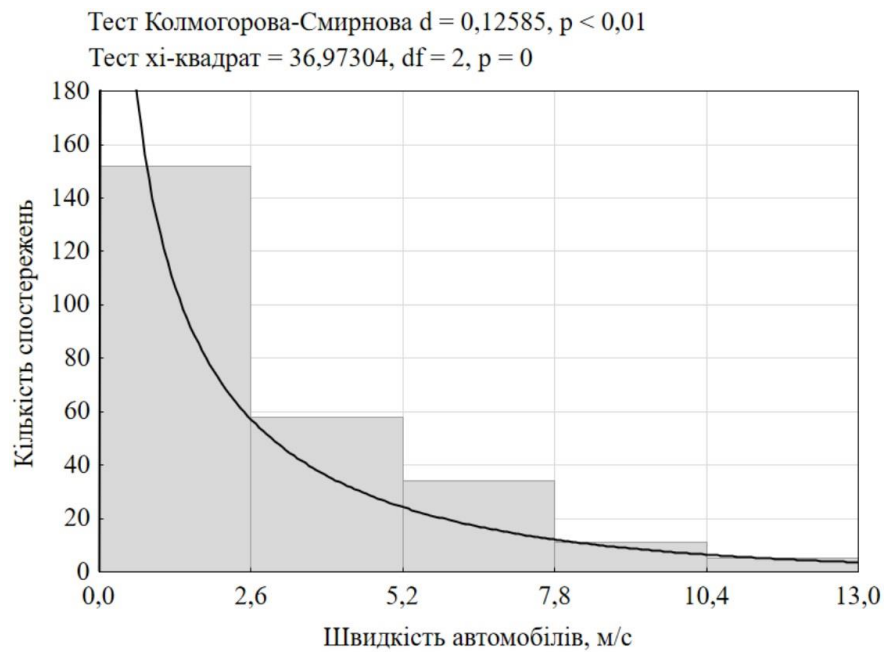


Рисунок 3.14 – Результати підбору параметрів гамма-розподілу ШР автомобілів з використанням методу моментів

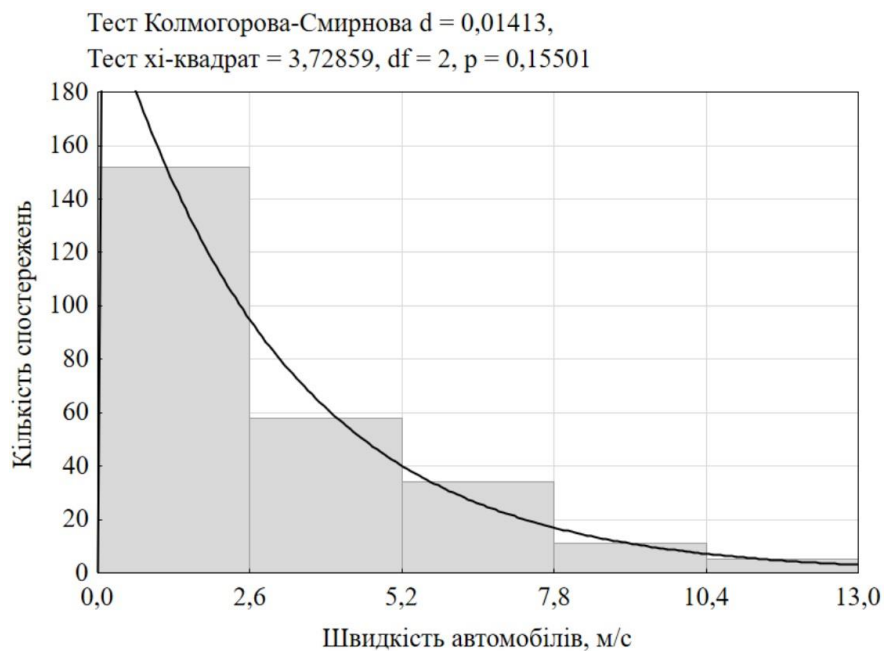


Рисунок 3.15 – Гамма-розподіл з отриманими методом максимальної правдоподібності параметрами, придатний для опису ШР автомобілів

Параметри масштабу і форми гамма-розподілу, підібрані методом максимальної правдоподібності, виявилися рівними 3,011 і 1,005 відповідно. При таких па-

раметрах математичне сподівання для підбраного гамма-розподілу приблизно дорівнює стандартному відхиленню, і обоє вони близькі до значення параметра масштабу.

Близьке до одиниці значення параметра форми гамма-розподілу свідчить про можливість опису емпіричного розподілу ШР автомобілів перед стоп-лінією показниковим законом, що і підтвердилося при відповідній перевірці, рис. 3.16.

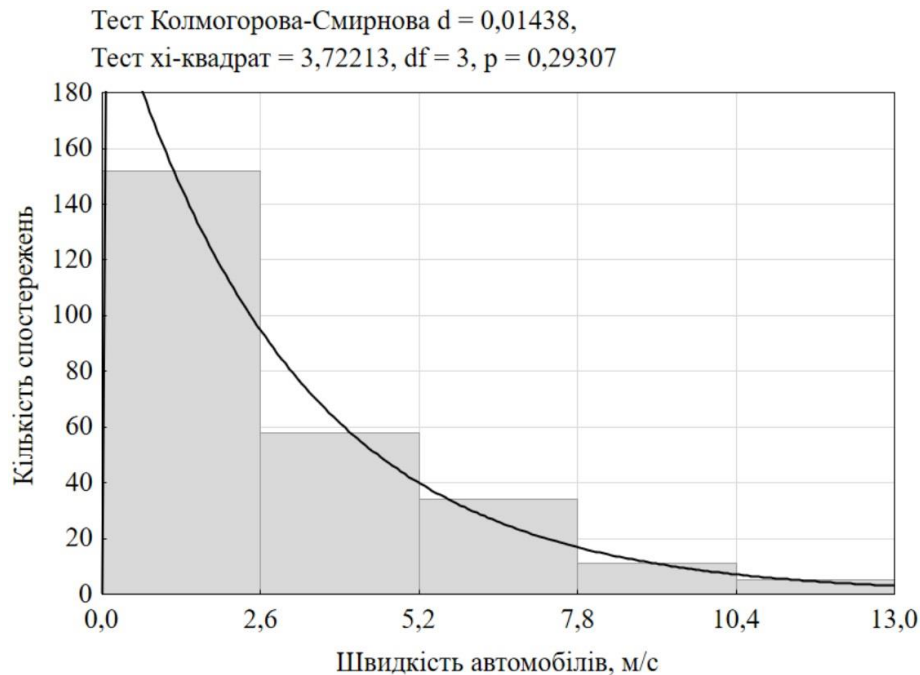


Рисунок 3.16 – Показниковий розподіл з отриманими методом максимальної правдоподібності параметрами і придатний для опису ШР автомобілів

Ці результати свідчать про підтвердження гіпотези про можливість використання гамма-розподілу для опису ШР ТЗ, а також створюють основу для встановлення статистичного зв'язку між математичним сподіванням швидкості і параметром форми гамма-розподілу. Цей зв'язок можна оцінити після формування відповідного статистичного ряду, отриманого з доступних даних, у тому числі протягом даного дослідження. Придатні для цієї мети дані зведені до табл. 3.8, з вказанням джерела, звідки вони були взяті.

Таблиця 3.8 – Результати спостереження за ШР автомобілів в різних умовах

Середня швидкість, м/с	Стандартне відхилення швидкості, м/с	Параметр форми гамма-розподілу, придатного для опису значень швидкості руху	Джерело
2,42	3,00	0,651	[12]
5,30	4,94	1,151	[2]
5,99	2,32	6,666	[4]
12,08	3,06	15,638	[66]
13,24	4,19	9,989	[66]
14,17	4,72	9,025	[66]
14,78	5,18	8,143	[66]
15,48	4,91	9,928	[64]
16,36	4,08	16,054	[63]
23,14	4,78	23,455	[35]

Ці дані були оброблені за допомогою MS Excel, в результаті чого була отримана регресійна залежність між параметром форми гамма-розподілу g і середньою швидкістю \bar{v} :

$$g = 0,85 \cdot \bar{v}. \quad (3.3)$$

Отримана модель має досить переконливі статистичні параметри, табл. 3.9, тому пошук інших варіантів опису взаємозв'язку між незалежною і результуючою ознаками далі не проводився.

Такий сильний лінійний зв'язок між параметром форми гамма-розподілу і середньою швидкістю переконливо свідчить на користь можливості використання гамма-розподілу для опису коливання ШР автомобілів в різних умовах.

Для підтвердження загального характеру зв'язку між розподілом швидкості і умовами руху, а також оцінки універсальності залежності (3.3), доцільно, окрім

проведених досліджень, провести ще спостереження за рухом ТЗ, ШР яких перед стоп-лінією РП менш схильна до впливу ускладнень умов руху. До таких транспортних засобів, як вказувалося в підрозділі 2.3, можна віднести двоколісні ТЗ, для яких зміна нормально розподіленої у вільних умовах ШР має бути меншою, ніж для автомобілів.

Таблиця 3.9 – Статистична характеристика моделі (3.3)

Показник моделі	Значення
Множинний коефіцієнт кореляції R	0,963
R -квадрат	0,928
Нормований R -квадрат	0,817
Стандартна помилка	3,402
Кількість спостережень	10
Інформаційна здатність моделі	$4,88735 \cdot 10^{-6}$
Стандартна помилка коефіцієнта	0,079
t -статистика коефіцієнта	10,763
P -значення коефіцієнта	$1,93 \cdot 10^{-6}$

Через надзвичайно малу частку транспортного попиту, який в містах України реалізується з використанням двоколісних транспортних засобів [109], було прийнято рішення про проведення обстеження на такому об'єкті, де питома вага згаданих ТЗ у складі ТП є істотно більшою, ніж в українських містах, і збір інформації на якому можливий для автора роботи. Таким об'єктом виявилось перехрестя вулиць Cát Linh, An Trách і Trính Hoàì Đứс в столиці В'єтнаму, Ханой. Спостереження за рухом двоколісних ТЗ на ньому – мотоциклів, скутерів, мопедів, моторолерів (далі – мотоциклів) – було проведено 09 грудня 2018 року, з 9:00 до 11:00, рис. 3.17.

Тривалість світлофорного циклу на перехресті складає 95 с, з яких 80 с триває основний такт для обраного під'їзду з боку вулиці Cát Linh. Процес оцінки часу

проїзду дистанції, рівної габариту мотоциклів, виявився дуже трудомістким через невеликі габарити цих ТЗ, тому з усього об'єму спостережень придатними виявилися 300 значень ШР мотоциклів, табл. 3.10.



Рисунок 3.17 – Ділянка вулиці Cát Linh, обрана для проведення спостережень за рухом мотоциклів

Таблиця 3.10 – Статистична характеристика значень швидкості руху мотоциклів перед стоп-лінією перехрестя

Характеристика вибірки	Значення
Кількість спостережень, од.	300
Мінімальне значення швидкості, м/с	0,07
Максимальне значення швидкості, м/с	12,73
Математичне сподівання швидкості, м/с	5,505
Стандартне відхилення швидкості, м/с	2,448
Параметр масштабу гамма-розподілу	1,089
Параметр форми гамма-розподілу	5,055

Ці результати сильно відрізняються від ШР автомобілів перед стоп-лінією як по середній ШР і стандартному відхиленню, так і по параметру форми гамма-

розподілу, який у випадку з мотоциклами має велике значення – значно більше за одиницю. Отримані в цьому спостереженні швидкості досить близькі до швидкостей, отриманих для випадку звуження проїзної частини вулиці для автомобілів, коли спостерігалася більша свобода руху, ніж на регульованому перехресті.

У табл. 3.10 наведено параметр форми гамма-розподілу, розрахований за формулою (2.9), проте якщо для цього використовувати залежність (3.3), параметр форми дорівнюватиме $g = 0,85 \cdot 5,505 = 4,679$. Це значення лише на 7,44 % менше параметра форми гамма-розподілу, отриманого в результаті спостережень. Така близькість може свідчити про універсальність залежності (3.3) в оцінці параметрів гамма-розподілу ШР як автомобілів, так і мотоциклів. Однак вважати цей факт підтвердженням і для мотоциклів після однієї перевірки буде передчасним.

Що стосується гіпотези про можливість використання гамма-розподілу для опису закономірностей в значеннях ШР мотоциклів, то вона також не спростовується, про що свідчать результати підбору цього розподілу під емпіричний ряд швидкостей з використанням методу моментів, рис. 3.18.

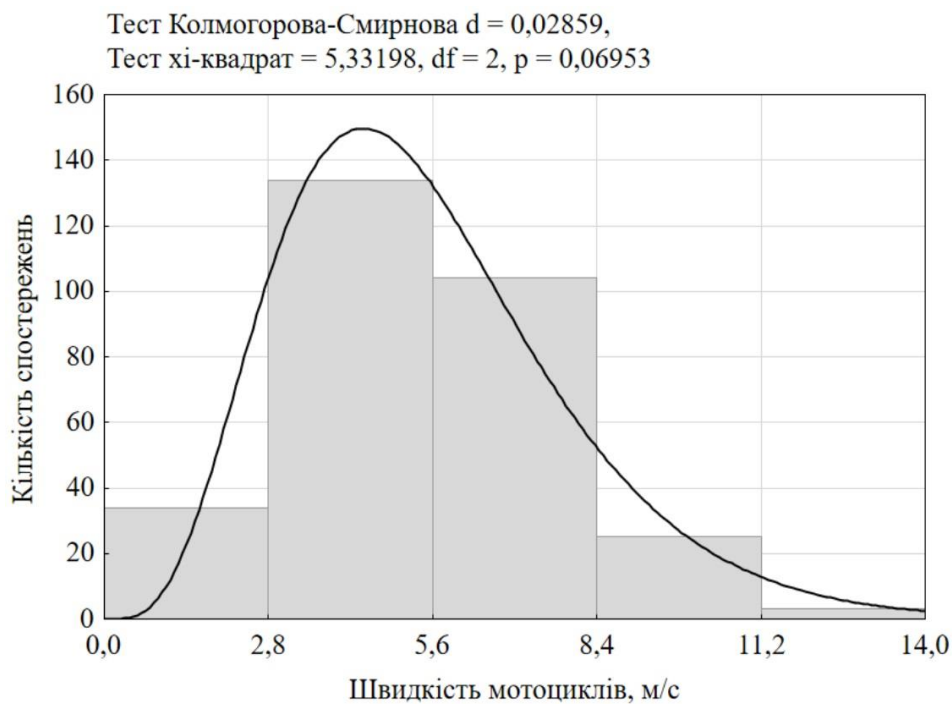


Рисунок 3.18 – Гамма-розподіл з отриманими методом моментів параметрами, придатний для опису ШР мотоциклів

Більш того, отриманий ряд ШР мотоциклів також досить добре може бути описаний і нормальним розподілом, рис. 3.19.

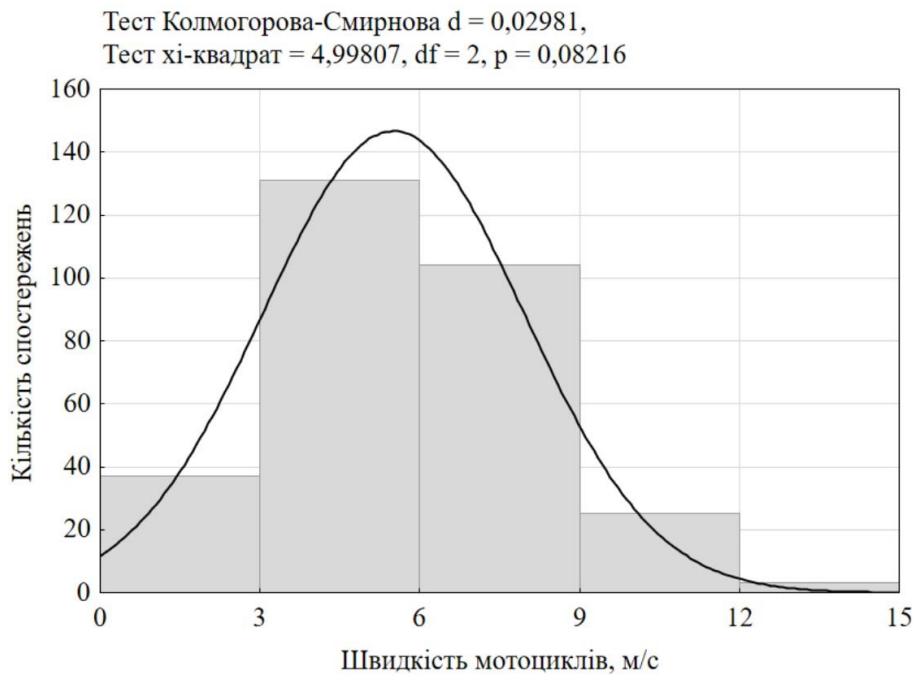


Рисунок 3.19 – Нормальний розподіл з отриманими методом моментів параметрами, придатний для опису ШР мотоциклів

Такий двічі позитивний результат перевірки гіпотези можна вважати достатнім для остаточного висновку про можливість використання гамма-розподілу при описі закономірностей в значеннях ШР. Проте, для того, щоб використовувати цей висновок відносно інших ТЗ, відмінних по своїх габаритних і швидкісних параметрах від ЛА і мотоциклів, необхідно додатково оцінювати статистичний зв'язок між математичним сподіванням і параметром форми гамма-розподілу ШР відповідних ТЗ в різних умовах руху.

Зважаючи на те, що PTV[®] VISUM надає транспортним інженерам і дослідникам середні значення ШР між об'єктами тяжіння, результати проведених в цьому підрозділі спостережень і залежність (3.3) дозволяють для кожного значення середньої швидкості на відрізку повністю визначити параметри ЗР ШР. Тим самим формується інформаційна основа для подальшого підвищення точності транспортних

прогнозів, в т.ч. розрахунків шуму прискорення і об'єму викидів шкідливих речовин в атмосферу з вихлопними газами ТЗ.

Висновки по третьому розділу

1. Експериментальні дослідження показали, що підхід до розподілу ТП на основі затримок на перехрестях дозволяє досягти більшої точності розрахунку інтенсивностей руху. При його використанні мінімальне значення середнього відхилення розрахункових потоків від фактичних склало 16,4 % на противагу 25,1 % при стандартному розподілі.

2. Віднесення затримок ТЗ до перехресть приводить до набагато більшого їх впливу на розподіл ТП в одному і тому ж діапазоні значень середньої ШР ТЗ, тобто розподіл ТП в цьому випадку в набагато меншій мірі залежить від швидкості, ніж при стандартному підході, що створює додаткові можливості для налаштування моделі.

3. Результати експериментальних досліджень однозначно свідчать про перевагу використання нового підходу до розподілу ТП в міських ВДМ, а також підкреслюють істотний вплив VD функцій на швидкість ТП в містах, що необхідно враховувати при оцінці точності транспортних моделей.

4. Висунута гіпотеза про можливість використання гамма-розподілу для опису швидкості руху ТЗ у будь-яких умовах руху, тобто для будь-якої середньої ШР, не була спростована проведеними експериментальними спостереженнями за рухом автомобілів на вузькій ділянці шириною 5,45 м для двох напрямів.

5. Результати спостереження за фактичною ШР на регульованому перехресті вказують на те, що РП помітно ускладнює умови руху в порівнянні з вузькою проїзною частиною, і це знаходить відображення у зниженні середньої швидкості автомобілів і зрості її стандартного відхилення. Такі умови спричиняють очікуване зменшення параметра форми гамма-розподілу. До такого ж висновку привела і переві-

рка відповідності ШР перед РП показниковому розподілу, яка, в той же час, вказала на необхідність продовження досліджень в цьому напрямі і пошуку ситуацій, котрі ще більше ускладнюють умови руху у порівнянні із заборонаю руху, що займає дві третини часу циклу світлофорного регулювання.

6. Спостереження за фактичною ШР на підході РП, де заборона руху займає близько 80 % часу циклу світлофорного регулювання, дозволили підтвердити гіпотезу про подальше зниження математичного сподівання швидкості руху автомобілів і можливості опису її емпіричних значень показниковим розподілом. Таким чином, ускладнення умов руху автомобілів на перехресті, викликане абсолютним і питомим скороченням основного такту світлофорного циклу приводить до зниження середньої ШР і змін в її стандартному відхиленні, які в сукупності спричиняють зниження параметра форми гамма-розподілу і його наближення до одиниці.

7. Зібрані в ході досліджень значення ШР автомобілів у міських умовах в різних країнах дозволили отримати регресійну залежність між середньою швидкістю руху ЛА і параметром форми гамма-розподілу, придатного для опису закономірностей в значеннях швидкості. Отримана залежність має досить високі прогностичні здібності, про що свідчить множинний коефіцієнт кореляції між незалежною і залежною змінними, рівний 96,3 %.

8. В ході досліджень було встановлено, що швидкість руху перед стоп-лінією РП мотоциклів, які менш схильні до впливу ускладнень умов руху, може бути описана як гамма-, так і нормальним розподілами. Цей результат разом з іншими результатами експериментальних досліджень можна вважати достатніми для остаточного висновку про можливість використання гамма-розподілу при описі закономірностей в значеннях ШР ІТ в міських умовах, а також про універсальність такого підходу до опису швидкості.

9. З урахуванням того, що PTV® VISUM надає транспортним інженерам і дослідникам середні значення ШР між об'єктами тяжіння, результати спостереження за фактичною ШР в міських умовах і отримуваних закономірностей її розподілу слід використовувати як інформаційну основу для подальшого підвищення точності

транспортних прогнозів, в т.ч. розрахунків шуму прискорення і об'єму викидів індивідуальним моторизованим транспортом шкідливих речовин в атмосферу.

Основні результати проведених досліджень в рамках цього розділу опубліковані в роботах [2-4, 6, 7, 9, 11, 12].

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ПРАКТИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ КОЛИВАННЯ ШВИДКОСТІ АВТОМОБІЛІВ У МІСТАХ

Результати проведених у розділі 3 експериментальних досліджень дозволили отримати два важливих для моделювання швидкості міських ТП результати:

- при моделюванні розподілу ТП перевагу слід віддавати підходу на основі затримок ТЗ на перехрестях, оскільки він дозволяє досягти більшої точності розрахунку інтенсивностей руху і забезпечує додаткові можливості для налаштування моделі на реальні значення швидкості ТП за допомогою підбору параметрів VD функцій;

- для опису закономірностей в значеннях ШР ІТ придатним є гамма-розподіл, для оцінки параметрів якого можна використовувати отриману регресійну залежність між одним з них – параметром форми g – і середньою швидкістю руху \bar{v} .

Також слід зазначити, що розгляд задачі моделювання швидкості ТП в містах, що відповідає рівню макромодельювання, надає дослідникам та інженерам можливість застосування відповідних програмних продуктів для створення моделей і отримання розрахункових даних з них. До таких продуктів відноситься використаний в третьому розділі програмний пакет PTV[®] VISUM, який забезпечує можливість розрахунку середніх значень ШР як між об'єктами тяжіння, так і на окремих ділянках ВДМ.

Використання виявлених закономірностей в значеннях ШР і доступних в PTV[®] VISUM або інших пакетах транспортного моделювання можливостей для прогнозування швидкості створює можливості не лише підвищити точність транспортних прогнозів, зокрема при розрахунку об'ємів викидів ІТ, що забруднюють атмосферу, але і розширити список оцінюваних характеристик транспортного процесу за рахунок шуму прискорення при оцінці ефективності заходів по ОДР для різних ВДМ. Для цього потрібно розробити методики розрахунку цих показників, за-

снованих на величині середньої ШР ЛА на ділянках ВДМ, з наступною перевіркою працездатності і коректності методик на прикладі реальної транспортної мережі, що функціонує в різних умовах.

4.1 Розробка методик врахування швидкості руху при прогнозуванні характеристик транспортних потоків у містах

4.1.1 Методика оцінки шуму прискорення залежно від середньої швидкості транспортних засобів на ділянках вулично-дорожньої мережі

Шум прискорення (ШП) відбиває втрати енергії, пов'язані із послідовними уповільненнями і прискореннями в керованому середовищі руху ТЗ [43]. Він характеризує плавність ТП і, відповідно, рівень комфорту при русі в його складі. Шум прискорення є узагальненням концепції кількості зупинок і підходить для її заміни як додатковий показник ефективності при проектуванні та оцінці роботи систем управління дорожнім рухом [43]. Основною і, по суті, єдиною мірою ШП є стандартне (середньоквадратичне) відхилення прискорення – чим воно більше, тим більше непродуктивні втрати енергії і нижче комфорт руху.

Знання закономірностей зміни ШР ТЗ робить можливим їх використання в транспортних прогнозах при кількісній оцінці шуму прискорення. Для цього необхідно перейти від закономірностей в значеннях ШР до коливань прискорення. Зробити це можна, використовуючи характерні точки, що зв'язують між собою швидкість руху ТЗ і його шум прискорення. Проблемою тут є те, що робіт, спрямованих на вивчення власне шуму прискорення, зовсім небагато – результати спеціального дослідження відбиває тільки звіт [43], у якому, однак, не міститься інформації, придатної для застосування в даній дисертаційній роботі. Відсутність цілеспрямованих досліджень обумовлена складністю вивчення питання ШП з теоретичної то-

чки зору, а також тим, що стандартне відхилення прискорення статистично повинне визначатися на основі його декількох фактичних значень.

При вирішенні питання про перехід від закономірностей зміни ШР ТЗ до коливань прискорення слід розуміти, що як аргумент шуканої залежності для шуму прискорення необхідно використовувати середню ШР \bar{v} різних транспортних засобів в поперечному перетині АД при тому, що зазвичай шум прискорення – це характеристика руху одного ТЗ по АД, що відбиває коливання прискорення в часі.

У такому випадку можна стверджувати, що при підвищенні свободи руху ТЗ коректним виглядає припущення про те, що шум прискорення буде прямувати до нуля, оскільки водій не буде обмежений у виборі бажаної для нього ШР. Цей же процес, як було раніше відмічено в даному дослідженні, супроводжується ростом середньої швидкості. Звідси витікає, що ріст ШР повинен супроводжуватися прямуюванням шуму прискорення до нуля. Ще слід взяти до уваги те, що навіть автоматичні системи підтримки постійної швидкості ТЗ (наприклад, круїз-контроль) забезпечують її знаходження в певному заданому діапазоні і допускають коливання в його межах. При цьому наявність в сталому режимі руху хоч і невеликих, але все ж таки ненульових коливань швидкості, означає наявність відповідних коливань прискорення відносно нуля (прискорень і уповільнень), тобто ненульового ШП. Тому процес наближення шуму прискорення до нуля з ростом ШР має бути асимптотичним, що можна відбити за допомогою графіку, на якому при $\bar{v} \rightarrow \infty$ величина шуму прискорення AN прямує до 0 ($AN \rightarrow 0$) і наближається до горизонтальної осі в точці, відповідній максимальній в певних умовах ШР, рис. 4.1.

Другою характерною точкою для шуму прискорення можна рахувати його значення при нульовій ШР. Тут логічним буде припустити, що це значення є максимальним для певних умов руху, оскільки відповідає ситуації росту швидкості з її мінімально можливого значення – нуля. Передбачуваний загальний вигляд залежності, що описує поведінку шуму прискорення в описаних умовах і відбиває порядок його значень в околицях двох розглянутих точок, приведений на рис. 4.1.

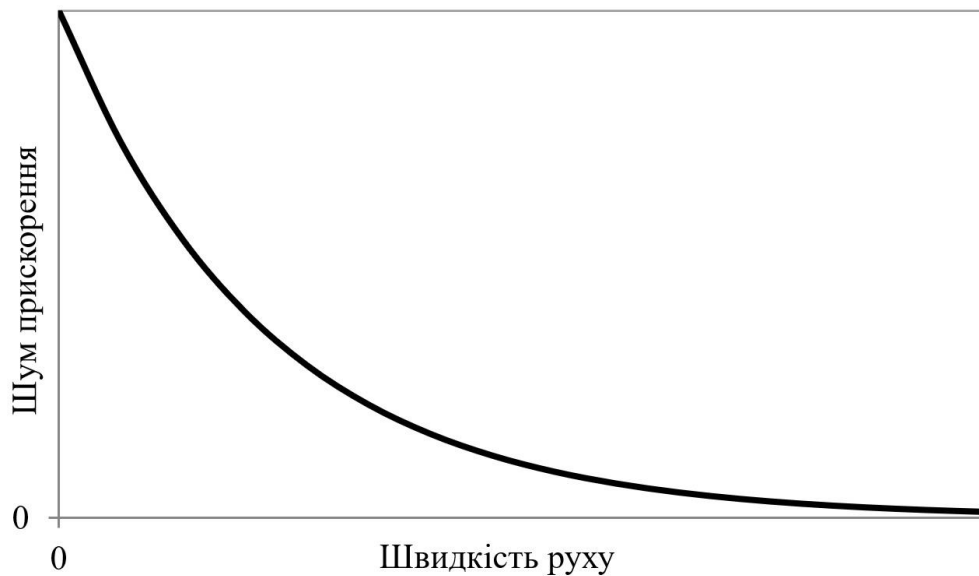


Рисунок 4.1 – Гіпотетичний вид залежності шуму прискорення від ШР ТЗ

Це припущення є справедливим при спаданні прискорення розгону з ростом швидкості. Таке спадання свідчатиме на користь як від самого початку викладених міркувань про прямування шуму прискорення до нуля, так і наступних – про його максимальне значення в точці з нульовою швидкістю.

Перевірити правильність зроблених в цьому підрозділі припущень було вирішено на основі результатів раніше виконаних досліджень процесу руху автомобілів, деякі з яких втілилися в нормативні документи [110]. Керівництво [110] так само як і цілий ряд досліджень (наприклад, [111, 112]), що йому передували, вказують на зазвичай більше прискорення транспортних засобів, коли швидкість нижча, і навпаки. Це відповідає зробленим вище припущенням відносно шуму прискорення.

Для врахування цієї тенденції в прискоренні іншими дослідниками були отримані певні лінійно убиваючі моделі, покликані поліпшити опис фактичних характеристик прискорення [113, 114]. Ці моделі також припускають, що:

- величина прискорення обернено пропорційна до швидкості;
- ТЗ досягають максимального прискорення при нульовій швидкості;
- прискорення лінійно зменшується до нуля при збільшенні швидкості ТЗ до

максимальної.

Такі міркування можуть вважатися хай і не прямим, але все-таки свідомством на користь позначених вище характерних точок в залежності шуму прискорення від середньої швидкості руху автомобіля.

Для безпосередньої перевірки справедливості передбачуваної залежності шуму прискорення від ШР потрібна кількісна оцінка не прискорення, а його стандартного відхилення при різній швидкості. Такі дані можна знайти в роботі [115], де описуються результати спостережень за розгоном автомобілів по рампі другорядної АД на міжміській магістралі в окрузі Сакраменто (Каліфорнія, США). Для оцінки ШР і прискорення ТЗ у восьми точках рампи автори використовували декілька різних технік, що включали відеозйомку і магнітні датчики. Це дало їм підстави стверджувати, що отримані середні значення прискорення і ШР ТЗ досить надійні для подальшого аналізу [115].

Значення прискорення із статті [115], що представляють інтерес, приведені залежно від часу прямування повз контрольну точку. Тому спочатку з метою оцінки залежності шуму прискорення від ШР для кожної точки графіків з роботи [115] були отримані шукані значення ШР і прискорення ТЗ. Шум прискорення розраховувався як середньоквадратичне відхилення значень прискорення в трьох сусідніх точках, починаючи з другої точки рампи. Результат наведений на рис. 4.2. Він не спростовує зроблених вище припущень про характер залежності між ШР і середньою ШР ТЗ (рис. 4.1), для опису якої надалі буде прийнята показникова функція

$$AN = e^{-\lambda_a \cdot \bar{v}}, \quad (4.1)$$

де λ_a – параметр залежності шуму прискорення від середньої ШР.

Щоб встановити реальне значення параметра залежності (4.1), потрібні фактичні спостереження за шумом прискорення і ШР, які на даний момент відсутні. Вважати такими значення, отримані з роботи [115], було б неправильним з багатьох міркувань, основних з яких є місце їх отримання і неможливість отримати вид розподілу ШР в одному поперечному перетині.

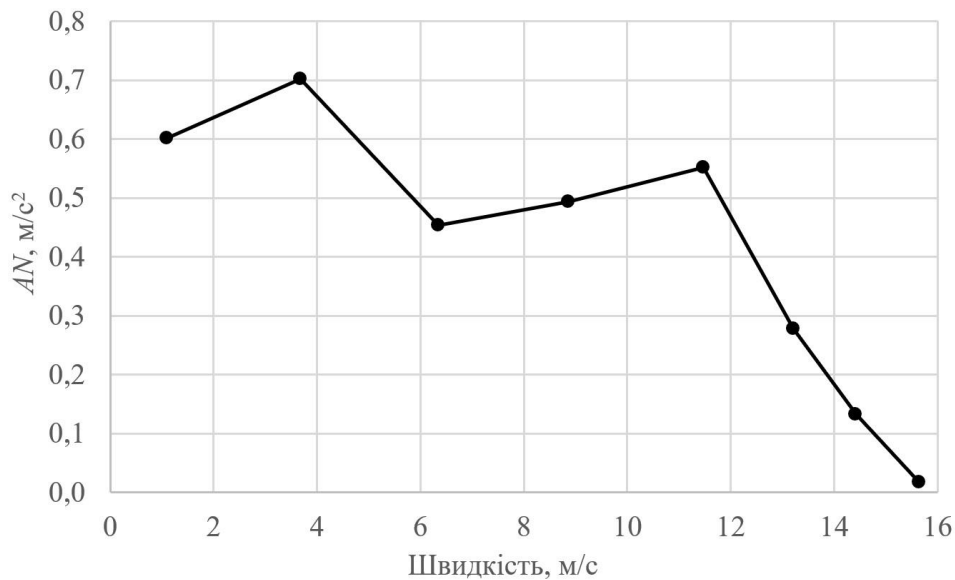


Рисунок 4.2 – Залежність шуму прискорення від ШР ТЗ за даними роботи [115]

Отримати необхідні значення можна із зібраних в даному дослідженні спостережень. Така можливість існує для ситуації роз'їзду ЛА на зелений сигнал світлофора регульованого перехрестя за умови, що всі автомобілі, що роз'їжджаються, чекали можливості проїзду в черзі. В цьому випадку відома їх стартова швидкість – 0 м/с, і швидкість проїзду через поперечний перетин перед стоп-лінією перехрестя. Тоді, за наявності тільки однієї смуги руху, можна розрахувати прискорення ЛА, якщо задати довжину проїзної частини, яку займає один автомобіль.

Розроблена для цього випадку методика розрахунку прискорень, по яких визначається шум прискорення AN , приведена в додатку А. Вона вимагає, щоб значення AN і \bar{v} розраховувалися окремо для кожної кількості автомобілів, що покинули регульоване перехрестя за зелений сигнал світлофора. Це означає, що в результаті повинне вийти декілька значень AN та \bar{v} відповідно, і для визначення параметра λ_a можна буде застосувати регресійний аналіз, що є позитивною властивістю методики, оскільки підвищує надійність оцінки параметра шуканої залежності шуму прискорення від середньої ШР.

Розрахунки параметра проводилися для розглянутого в третьому розділі перехрестя вулиць Ярослава Мудрого і Алчевських в м. Харків, оскільки автомобілі

на ньому роз'їжджаються в одну лінію (по одній смузі). Відстань, яку займає один автомобіль, була визначена виходячи з максимальної кількості автомобілів в черзі перед світлофором, рівної 22 од., які протягом години-пік розміщуються на одній смузі вулиці Ярослава Мудрого між вулицями Алчевських і Чернишевською. Оскільки довжина цієї ділянки складає 154 метри, то кожен автомобіль займає в середньому 7 м проїзної частини.

Із 403 зафіксованих на перехресті вулиць Ярослава Мудрого і Алчевських значень ШР в розрахунку прискорень брали участь 378 спостережень, що відповідають автомобілям, котрі знаходилися в чергах довжиною від 5 до 9 авто і роз'їжджалися на зелений сигнал світлофора, табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати розрахунку шуму прискорення ЛА на перехресті вулиць Ярослава Мудрого і Алчевських в м. Харків

Показник	Кількість автомобілів, що проїхали перехрестя, од.				
	5	6	7	8	9
Кількість спостережень, од.	20	42	161	128	27
Середня швидкість, м/с	4,439	4,978	5,321	5,560	6,836
Шум прискорення, м/с ²	0,725	0,416	0,472	0,489	0,557

Розрахований за цими даними параметр залежності шуму прискорення від середньої ШР вийшов рівним $\lambda_a = 0,118$, і вона набула наступного вигляду:

$$AN = e^{-0,118\bar{v}}. \quad (4.2)$$

Статистичні характеристики отриманої моделі досить високі:

а) $r^2 = 0,916$;

б) інформаційна здатність моделі підтверджена;

в) коефіцієнт моделі виявився значущим, з t -статистикою, рівною -6,59.

Все це обумовлює можливість використання моделі (4.2) для прогнозування

шуму прискорення залежно від середньої ШР в міських умовах. Максимальне його значення в точці $\bar{v} = 0$ складає 1, що забезпечує зручну основу для порівняльної оцінки якості ОДР для різних умов руху.

4.1.2 Методика розрахунку об'ємів викидів шкідливих речовин транспортними засобами в містах залежно від середньої швидкості руху

Наступною величиною, яку можна прогнозувати на основі середньої ШР в міських ВДМ, є об'єм викидів ІТ, що забруднюють атмосферу. Для того, щоб досягти підвищення точності і надійності розрахунків об'ємів викидів, можна об'єднати переваги макромодельовання пересувань ТЗ та імовірнісний характер ШР, виявлений в розділі 3 даної роботи. Встановлена в підрозділі 3.3 залежність між середньою ШР і параметром форми гамма-розподілу швидкості дозволяє перейти від \bar{v} до характеристики швидкості як випадкової величини. Цей перехід можна покласти в основу методики модельовання швидкості ТП на ділянках ВДМ і розрахунку залежних від неї показників, яка забезпечить отримання найбільш повної – інтервальної оцінки об'єму викидів шкідливих речовин, що містяться у вихлопних газах автомобілів. Цю методику можна представити наступною послідовністю дій:

- створення транспортної моделі. Першим кроком в модельованні ТП повинна стати розробка транспортної макромоделі, котра максимально точно відбивала би характеристики ВДМ і ТП в досліджуваному об'єкті. Для цього треба мати в розпорядженні актуальну інформацію про характеристики як транспортної пропозиції, так і транспортного попиту. Треба забезпечити, щоб в моделі були використані коректні характеристики вулиць, доріг і ОДР. При модельованні транспортного попиту особливу увагу варто приділити відповідності розрахункових величин інтенсивності і швидкості ТП їх реальним значенням. За підсумками створення транспортної моделі вона повинна об'єктивно відбивати основні характеристики транспортних процесів, що відбуваються в місті (в об'єкті модельовання);

- розрахунок в створеній моделі середньої ШР ТЗ при їх прямуванні між об'єктами тяжіння (транспортними районами);
- оцінка параметра форми гамма-розподілу ШР між ТР за допомогою регресійної залежності (3.3). При цьому параметр масштабу можна оцінити як $\frac{\bar{v}}{g}$ [77];
- розрахунок 0,05-квантиля розподілу ШР (5-го перцентилля швидкості руху);
- розрахунок 0,95-квантиля розподілу ШР (95-го перцентилля швидкості руху);
- інтервальна оцінка швидкості руху по всій ВДМ модельованого об'єкту;
- інтервальна оцінка викидів шкідливих речовин на ВДМ на основі характеристик ШР між ТР з використанням методики, закладеної в процедуру Pollution-Emis в PTV® VISUM і заснованою на даних про питомі викиди автотранспорту, що видаються Федеральним відомством з охорони довкілля Швейцарії (BAFU – Bundesamt für Umwelt, англ. Swiss Federal Office for the Environment (FOEN)) [57].

Ця методика заснована на розрахунку питомих викидів забруднюючих речовин – оксидів азоту (NO_x), оксиду вуглецю (CO), вуглеводнів (HC) і діоксиду сірки (SO_2) – в грамах на кілометр пробігу залежно від ШР ТЗ. Для розрахунку питомих викидів n -го виду $E^{(n)}$ ($n = \text{NO}_x, \text{CO}, \text{HC}, \text{SO}_2$) використовуються поліноми п'ятого порядку

$$E^{(n)} = \hat{a} + \hat{b} \cdot v + \hat{c} \cdot v^2 + \hat{d} \cdot v^3 + \hat{e} \cdot v^4 + \hat{f} \cdot v^5, \quad (4.3)$$

у яких аргументом є ШР v з коефіцієнтами $\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}, \hat{d}, \hat{e}, \hat{f}$, отриманими за допомогою регресійного аналізу з даних BAFU [25, 57] окремо для легкових (passenger car) і вантажних (heavy goods vehicle – HGV) автомобілів. Оскільки в цій роботі розглядається рух ТЗ в міських умовах, де частка вантажного транспорту у складі ТП є досить малою, практичний інтерес представляють значення коефіцієнтів $\hat{a}, \hat{b}, \hat{c}, \hat{d}, \hat{e}, \hat{f}$ для легкових автомобілів, табл. 4.2.

Тут слід зазначити, що у багатьох транспортних прогнозах використовуються характеристики ТП, вимірюваних в приведених до легкового автомобіля одиницях

(PCU). Для такого приведення використовуються однойменні коефіцієнти, і це вказує на можливість розгляду характеристик ТП, інтенсивність яких вимірюватиметься в приведених легкових автомобілях (ПЛА).

Таблиця 4.2 – Коефіцієнти полінома для розрахунку питомих викидів забруднюючих речовин легковими автомобілями [25]

Забрудник n	Значення коефіцієнтів в поліномі (4.3)					
	\hat{a}	\hat{b}	\hat{c}	\hat{d}	\hat{e}	\hat{f}
NO _x	0,18965	$5,58 \cdot 10^{-3}$	$-1,93 \cdot 10^{-4}$	$2,57 \cdot 10^{-6}$	$-6,56 \cdot 10^{-9}$	$-2,07 \cdot 10^{-11}$
CO	3,2587	$-8,05 \cdot 10^{-2}$	$6,73 \cdot 10^{-4}$	$-1,21 \cdot 10^{-6}$	$-6,39 \cdot 10^{-9}$	$3,77 \cdot 10^{-11}$
HC	0,43608	$-1,34 \cdot 10^{-2}$	$1,86 \cdot 10^{-4}$	$-1,22 \cdot 10^{-6}$	$3,97 \cdot 10^{-9}$	$-5,66 \cdot 10^{-12}$
SO ₂	117,0	-3,8913	$7,28 \cdot 10^{-2}$	$-7,24 \cdot 10^{-4}$	$3,89 \cdot 10^{-6}$	$-8,20 \cdot 10^{-9}$

Коефіцієнти в табл. 4.2 разом з інформацією про кореспонденції, ШР і відстані між ТР можна використовувати для розрахунку абсолютної величини викидів забруднюючих речовин в атмосферу:

$$E_{total}^{(n)} = \frac{\sum_{i,j} E_{ij}^{(n)} \cdot l_{ij} \cdot h_{ij}}{1000}, \quad (4.4)$$

де $E_{total}^{(n)}$ – сумарний об'єм викидів n -ї забруднюючої речовини на ВДМ модельованого об'єкту, кг;

$E_{ij}^{(n)}$ – питома величина викидів n -ї забруднюючої речовини, залежна від середньої ШР ТЗ \bar{v}_{ij} між ТР i та j , г/км;

l_{ij} – відстань між ТР i та j , км;

h_{ij} – величина кореспонденції між ТР i та j за аналізований період, ПЛА.

Середня ШР між ТР \bar{v}_{ij} і відстані поїздок між ТР l_{ij} можуть бути отримані з відповідних матриць витрат, розрахованих в програмному забезпеченні

PTV® VISUM. Величини кореспонденцій між ТР h_{ij} мають бути доступні за результатами створення транспортної моделі об'єкту дослідження.

Інтервальна оцінка ШР і величини викидів забруднюючих речовин на мережі модельованого об'єкту разом з оцінкою шуму прискорення відкривають можливість прогнозу характеристик ТП, їх впливу на навколишнє середовище і, відповідно, порівняльного аналізу змін у міських транспортних системах, у тому числі заходів по ОДР.

4.2 Формування транспортної моделі центрального району міста Ханой, Лонгб'єн

При виборі об'єкту для практичного застосування розробленої в підрозділах 2.1, 2.2 методик моделювання середньої швидкості міських ТП, а також описаних в 4.1 методик оцінки шуму прискорення і викидів шкідливих речовин доцільно керуватися вимогами, близькими до пред'явлених до об'єкту експериментальних досліджень в підрозділах 3.1 і 3.2, а саме:

а) транспортна модель об'єкту має бути невеликого розміру для того, щоб забезпечити:

- можливість точного налаштування моделі;
- розуміння результатів використання методик;
- детальне відбиття в результатах розрахунків змін, пов'язаних з організацією дорожнього руху на окремих вулицях (чутливість до змін в ОДР);

б) вулично-дорожня мережа об'єкту моделювання має бути високо завантаженою, із складними в контексті швидкості умовами руху, котрі характерні для пікових періодів в роботі транспортної системи;

в) об'єкт має бути реальним, тобто його модель має бути побудована на фактичній інформації про характеристики транспортних потоків і, відповідно, адекватно відбивати їх.

Також слід додати вимогу до актуальності транспортної моделі, оскільки результати практичного застосування методики будуть найбільш цінними і наочними, якщо вони відноситимуться до діючої нині транспортної системи.

Базою для створення моделі, що відповідає усім згаданим вимогам, стала розроблена в програмному середовищі PTV[®] VISUM [25] в'єтнамською консалтинговою компанією Transport Engineering Design Incorporated (TEDI) [116] транспортна модель столиці В'єтнаму м. Ханой. Будучи дуже високо деталізованою, ця транспортна модель створює можливість дослідження транспортних процесів в окремих районах (quận) міста. Такі райони є відносно невеликими об'єктами, і вулично-дорожня мережа в них цілком придатна для вирішення завдань даного дослідження. Відповідно, виникає питання вибору району міста для дослідження процесу розподілу ТП.

Через особливості місцевості, на якій розташоване м. Ханой, для моделювання ТП і дослідження їх характеристик був обраний центральний район Лонгб'єн (Long Biên), що знаходиться у вигині річок Хонгха (Sông Hồng) і Дионг (Sông Đuống). Річки оточують район з усіх боків, окрім південного сходу, що істотно обмежує можливості в'їзду-виїзду з нього. Це робить його транспортну систему умовно ізольованою і дуже зручною для практичного застосування розроблених методик розподілу ТП і оцінки їх характеристик. Також для цього району виявилася доступною можливість організації і проведення натурних замірів характеристик ТП.

При цьому слід зазначити, що через більш загальне призначення транспортної моделі м. Ханой її складова частина – транспортна мережа району Лонгб'єн – все ж потребувала певного доопрацювання для точнішого відбиття власних характеристик. З цією метою район Лонгб'єн був розглянутий як окремий об'єкт моделювання з межами, що послідовно проходять по:

- річці Дионг (Sông Đuống);
- автомагістралі «Ханой – Бакзянг» (Đường cao tốc Hà Nội – Bắc Giang);
- національній дорозі 1А (Đ. Quốc lộ 1A);
- мосту Тханьчі (Cầu Thanh Trì);
- річці Хонгха (Sông Hồng), рис. 4.3.



Рисунок 4.3 – Представлена в транспортній моделі міста Ханой мережа індивідуального транспорту району Лонгб'єн

В результаті була отримана транспортна модель, яка описує територію площею 58,3 км², що складає приблизно 1,7 % площі Ханоя. До її складу входять 14 транспортних районів, що відповідають адміністративним кварталам (phường) району Лонгб'єн.

Види транспорту, що взаємодіють в моделі, з їх характеристиками представлені наступними системами транспорту, табл. 4.3.

Модель вулично-дорожньої мережі району була істотно допрацьована, що дозволило детальніше відбити її характеристики. Доопрацювання моделі полягало в тому, щоб внести в неї вузли і відрізки, що описують усі основні вулиці, дороги і магістралі, по яких відбувається найбільш інтенсивний рух транспорту і які важли-

ві для моделювання розподілу ТП в районі (вузли в PTV[®] VISUM – це точкові об’єкти, які визначають просторове положення перехресть, зупинок громадського транспорту, залізничних вузлів, місць зміни характеристик ділянок мережі; вони є початковими або кінцевими пунктами відрізків ВДМ. Відрізки сполучають вузли і таким чином описують вулиці і дороги; відрізок – це спрямоване ребро, що характеризується прямим і зворотним напрямками, які є двома самостійними об’єктами мережі і описуються такими атрибутами, як довжина, перелік систем транспорту, рух яких дозволений на ньому, пропускна спроможність, дозволена швидкість руху, рівень завантаження та ін.). В результаті кількість вузлів у модельованій ВДМ склала 449, відрізків – 1436, загальна протяжність мережі – 223,8 км. Графічно, уточнена модель ВДМ району Лонгб’єн представлена на рис. 4.4.

Таблиця 4.3 – Характеристики систем транспорту, що взаємодіють в транспортній моделі району Лонгб’єн

Система транспорту	Позначення системи транспорту в моделі PTV [®] VISUM		Швидкість руху у вільній мережі, км/год
	код	назва	
Велосипед	BIKE	Bike	20
Автомобіль	CAR	Car	40
Автобус (міжміський)	Co	Coach	40
Автобус (міський)	BUS	Bus	30
Вантажний автомобіль	HGV	HGV	40
Мотоцикл	MC	Motorcycle	40
Пішохід	PED	Pedestrians	5

Окрім цього, для отримання розподілу ТП на представленій мережі модель ІТ в районі Лонгб’єн була доповнена характеристиками регульованих перехресть, а саме інформацією про світлофорні цикли. Просторове розташування світлофорних

об'єктів в районі Лонгб'єн представлено на рис. 4.5.



Рисунок 4.4 – Модель ВДМ індивідуального транспорту в районі Лонгб'єн міста Ханой

Інформація про цикли регулювання світлофорних об'єктів в районі була отримана від Центру управління дорожнім рухом Відділу транспорту м. Ханой [118], який використовує її у своїй діяльності, регулюючи дорожній рух в місті за допомогою програмного забезпечення CadProVNM [118]. Програмне забезпечення містить інформацію про час горіння заборонного (червоного), проміжного (жовтого) сигналів світлофорів, а також сигналу, що дозволяє рух (зеленого) для кожного дозволеного на перехрестях напрямку руху, додаток Б. Ця інформація для ранкового періоду-пік була перенесена в модель в атрибути об'єктів мережі «Повороти», які характеризують згадані напрямки руху.

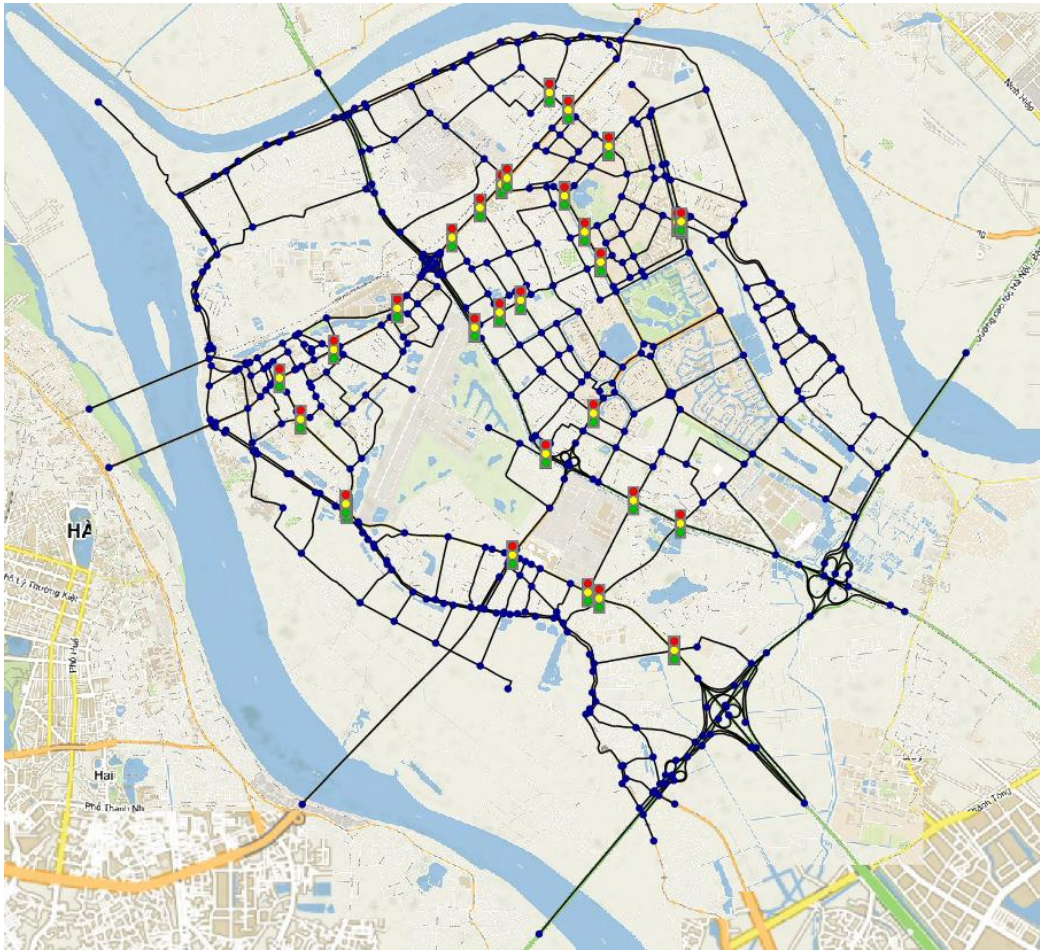


Рисунок 4.5 – Розташування світлофорних об’єктів в районі Лонгб’єн

В результаті в PTV[®] VISUM був внесений масив даних про світлофорне регулювання, представлений в табл. Б.1 додатку Б, який дозволяє врахувати затримки ТЗ на РП при моделюванні розподілу ТП в найбільш напружений період функціонування транспортної системи – ранкові години-пік.

Щоб отримати розподіл ТП, створена модель ВДМ району Лонгб’єн була доповнена моделлю транспортного попиту, представленою матрицею кореспонденцій (МК) автомобілів. Ця матриця відбиває пересування ТЗ по району, і для її розрахунку спочатку було проведено нове мікрорайонування території району Лонгб’єн з метою отримання найбільш точних параметрів пересувань ТЗ по ВДМ.

Межі нових ТР призначалися за принципом об’єднання територій з точки зору транспортного тяжіння і забезпечення можливості адекватного відображення ТП вздовж основних магістралей району. Як наслідок, магістралі були поділені межа-

ми ТР на сегменти, покликані відбити можливі зміни характеристик ТП на різних ділянках однієї і тієї ж магістралі.

В результаті проведеного районування було виділено 20 внутрішніх і 10 зовнішніх ТР, котрі слугують для опису в'їзду і виїзду транспорту на модельовану територію, тобто зв'язків району Лонгб'єн з навколишніми територіями. Результат виділення нових ТР представлений на рис. 4.6.



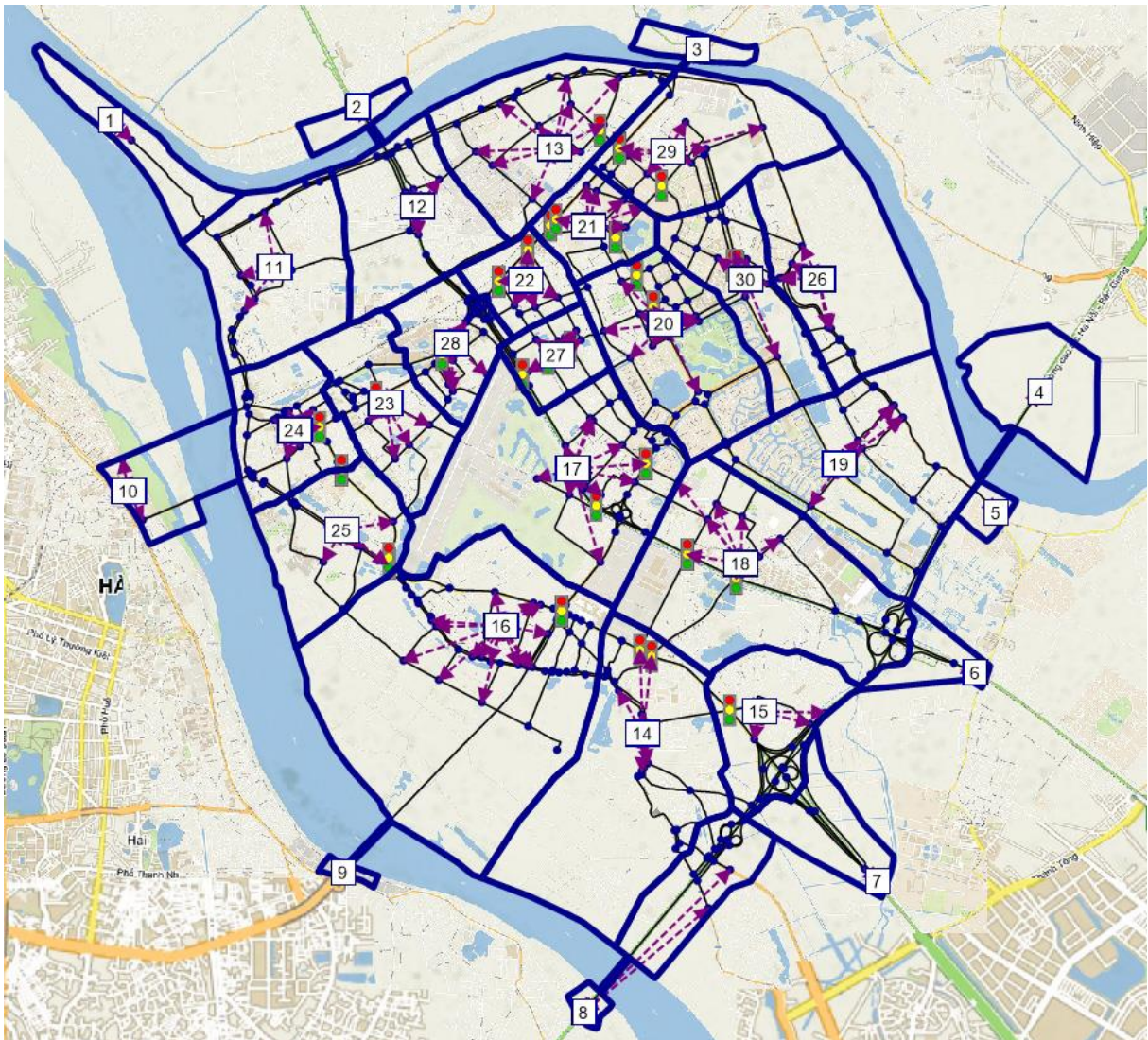
Рисунок 4.6 – Поділ території району Лонгб'єн на транспортні райони

Далі була зроблена прив'язка транспортного попиту до ВДМ за допомогою спеціальних елементів транспортної моделі – примикань. Примикання – це об'єкти моделі, за допомогою яких умовно відбиваються основні маршрути пересувань між

центром тяжіння ТР і вузлами ВДМ:

- примикання джерела відповідають маршруту прямування з ТР до ВДМ і, відповідно, є першою частиною пересування;
- примикання мети відповідають маршруту прямування з ВДМ до ТР і, відповідно, є останньою (завершальною) частиною пересування.

Результати проставлення примикань в транспортній моделі району Лонгб'єн показані на рис. 4.7.



Умовні позначення:

-----▶ – примикання між центрами ТР і вузлами ВДМ

Рисунок 4.7 – Примикання в транспортній моделі ІТ району Лонгб'єн

З метою розрахунку місткостей виділених ТР спочатку був визначений період аналізу, яким стали дві години в ранковий пік, – з 7:00 до 9:00. У цей період спостерігається найбільше навантаження на ВДМ протягом доби, і часто саме в цей період виникають проблеми з ОДР, що вимагають першочергового вирішення. Для спрощення розрахунків МК, уніфікації результатів розподілу ТП, що отримуються на її основі, а також полегшення розуміння і сприйняття результатів подальших розрахунків було прийнято рішення розраховувати матрицю в ПЛА.

Місткості зовнішніх ТР були визначені як двогодинні інтенсивності в'їзду-виїзду з території району Лонгб'єн:

$$DE_y = TI_y, \quad (4.5)$$

$$AE_u = TO_u, \quad (4.6)$$

де DE_y – місткість y -го зовнішнього ТР по відправленню, ПЛА/2 год,
 $y = 1, \dots, 10$;

TI_y – інтенсивність руху ТЗ на y -му в'їзді до району Лонгб'єн, ПЛА/2 год;

AE_u – місткість u -го зовнішнього ТР по прибуттю, ПЛА/2 год,
 $u = 1, \dots, 10$;

TO_u – інтенсивність руху ТЗ на u -му виїзді з району Лонгб'єн, ПЛА/2 год.

Для отримання величин TI_y і TO_u в період з 19.07.2020 р. по 07.06.2021 р. у будні дні були проведені відповідні натурні обстеження (з 7:00 до 9:00) на позначених на рис. 4.8 в'їздах-виїздах з території району Лонгб'єн (мости і основні міські магістралі, що ведуть в район). Результати цих обстежень зведені до табл. 4.4. Приведення інтенсивності руху до ПЛА було виконане за допомогою коефіцієнтів, відображених в останньому рядку таблиці і використовуваних в діяльності раніше згаданого Відділу транспорту в м. Ханой.

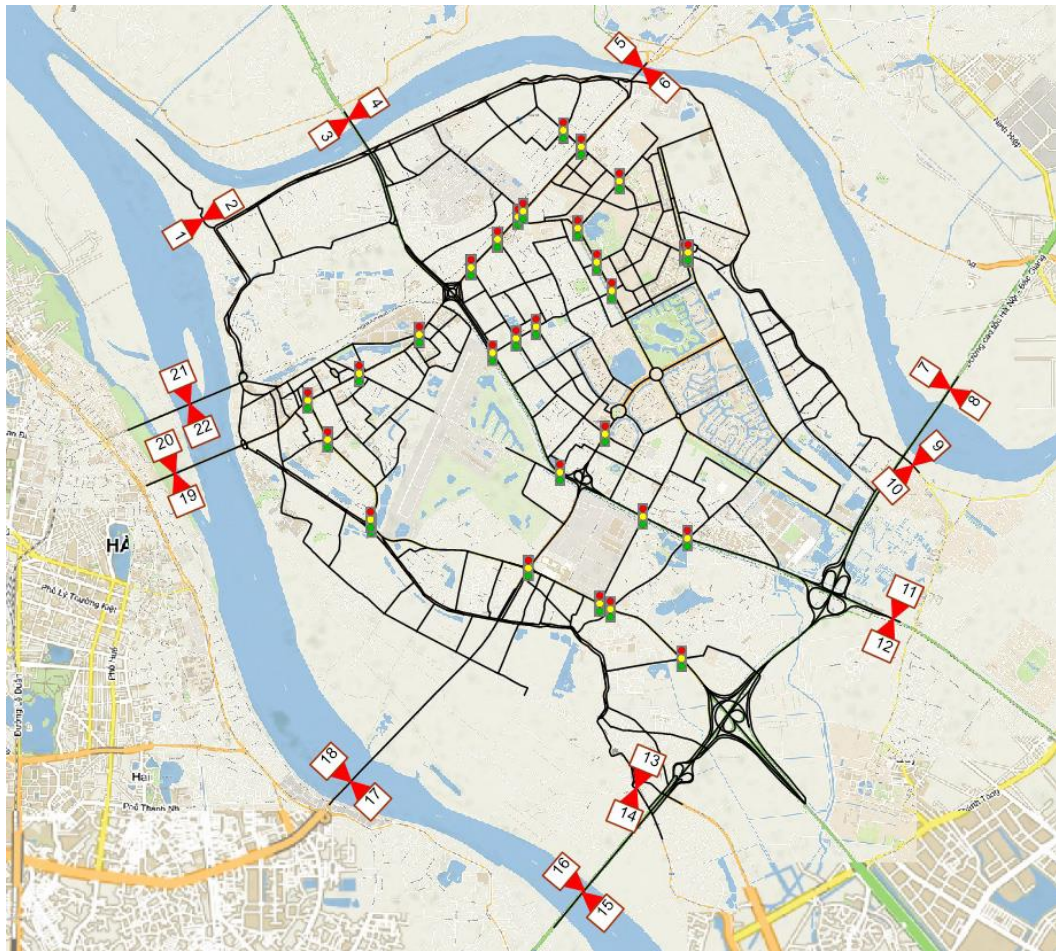


Рисунок 4.8 – Місця обстеження інтенсивностей в'їзду і виїзду ТЗ з району Лонгб'єн

Таблиця 4.4 – Результати замірів інтенсивності руху на в'їздах-виїздах з території району Лонгб'єн

Місце заміру	Позначення напрямку руху (номер місця обстеження на рис. 4.8)	Легкові автомобілі	Мікроавтобуси (12-24 місця)	Великі автобуси (25-30 місць)	Бізнес-автобуси (>30 місць)	Громадські автобуси (>30 місць)	Малі вантажні автомобілі (< 2 т)	Середні вантажні автомобілі (2-10 т)	3-вісні вантажні автомобілі, контейнеро-вози (20-фут.)	Вантажні автомобілі з 4-та більше осями, контейнеровози (40-фут.)	Мотоцикли	Приведені легкові автомобілі (ПЛА)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
вул. Bắc Cầu	1	113	13	0	0	0	14	13	2	0	2196	768
	2	42	2	0	0	0	10	8	0	0	1129	374
міст Đông Trù	3	9437	187	100	68	46	530	120	123	97	13724	16360
	4	6433	193	138	177	50	492	192	81	140	9928	13006
міст Đuống	5	1757	93	16	11	98	106	11	15	6	10535	5360
	6	1649	34	32	14	91	138	32	9	12	7091	4418
міст Phù Đổng	7	1993	166	32	130	31	517	445	75	318	4187	7936
	8	5038	246	121	137	51	616	145	64	222	3313	10391

Закінчення таблиці 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
вул. đê Vàng	9	252	9	0	0	0	68	2	0	0	2988	1197
	10	290	21	1	0	0	49	24	0	1	1933	1015
вул. Nguyễn Đức Thuận	11	6633	149	106	130	161	379	459	392	456	20584	18438
	12	4366	749	199	156	150	423	352	152	298	12344	14425
дорога Đê Xuân Quan – Long Biên	13	709	15	4	6	17	18	2	1	5	2034	1409
	14	406	18	1	10	11	31	10	0	2	747	814
міст Thanh Trì	15	3185	263	140	0	0	524	0	377	142	3925	8253
	16	3656	246	129	0	0	968	0	585	164	3376	10333
міст Vin Tuy	17	3960	378	105	0	0	283	0	52	28	10019	8700
	18	3940	140	141	0	0	262	0	29	0	12993	8703
міст Chương Dương	19	2619	160	199	0	0	72	0	3	0	12467	6922
	20	2771	68	171	0	0	85	0	36	0	38991	13522
міст Long Biên	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4461	1115
	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11530	2882
Коефіцієнт приведення		1	2,5	3	3	3	2,5	2,5	3	4	0,25	-

Для оцінки потенційної кількості відправлень і прибуттів ТЗ у внутрішні ТР основою послужили значення місткостей початкових ТР в транспортній моделі м. Ханой:

$$DI_k = \sum_{u \in k, w \cap k} \frac{S_{uwk}}{S_{wk}} \cdot D_{wk}, \quad (4.7)$$

$$AI_m = \sum_{u \in m, w \cap m} \frac{S_{uwm}}{S_{wm}} \cdot A_{wm}, \quad (4.8)$$

де DI_k – місткість k -го внутрішнього ТР по відправленню, ПЛА/2 год, $k = 11, \dots, 30$;

S_{uwk} – u -а частина площі k -го внутрішнього ТР, належна w -му початковому ТР в транспортній моделі м. Ханой, км²;

S_{wk} – площа w -го початкового ТР в транспортній моделі м. Ханой, який має загальну з k -м внутрішнім ТР площу, км²;

D_{wk} – місткість w -го початкового ТР, пересічного по площі з k -м внутрішнім ТР, по відправленню, ПЛА/2 год;

AI_m – місткість m -го внутрішнього ТР по прибуттю, ПЛА/2 год, $m = 11, \dots, 30$;

S_{iwm} – i -а частина площі m -го внутрішнього ТР, належна w -му початковому ТР в транспортній моделі м. Ханой, км²;

S_{wm} – площа w -го початкового ТР в транспортній моделі м. Ханой, який має загальну з m -м внутрішнім ТР площу, км²;

A_{wm} – місткість w -го початкового ТР, пересічного по площі з m -м внутрішнім ТР, по прибуттю, ПЛА/2 год;

$\sum_{u \in k, w \cap k}$ – оператор сумування по всім u -м частинам площі k -го внутрішнього

ТР, площа якого перетинається з площею w -х початкових ТР в транспортній моделі м. Ханой (підсумовування ведеться і по k , і по w);

$\sum_{u \in m, w \cap m}$ – оператор сумування по всім u -м частинам площі m -го внутрішнього

ТР, площа якого перетинається з площею w -х початкових ТР в транспортній моделі м. Ханой (підсумовування ведеться і по m , і по w).

В результаті були отримані значення місткостей ТР на території району Лонгб'єн, які приведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Місткості ТР, виділених на території району Лонгб'єн м. Ханой

ТР	Місткість по відправленню D_i , ПЛА/2 год	Місткість по прибуттю A_j , ПЛА/2 год
1	2	3
1	774	371
2	16496	12899
3	5404	4382
4	8002	10306
5	1206	1007
6	18592	14307
7	10895	11132
8	9742	11056
9	8773	8632
10	8104	16270
11	3498	3428

Закінчення таблиці 4.5

1	2	3
12	3770	3632
13	4905	4709
14	2854	2496
15	2691	2316
16	17184	17792
17	17194	17233
18	18186	16750
19	3595	3716
20	8943	7825
21	3477	3374
22	2812	2705
23	12745	13300
24	18268	19109
25	8205	8221
26	4646	4101
27	2624	2430
28	4496	4936
29	6101	6061
30	2783	2469
Σ	236965	236965

Для розрахунку значень кореспонденцій був використаний ймовірнісний підхід, описаний в роботі [119] і заснований на припущенні про те, що ймовірність відправлення і прибуття в ТР пропорційна значенням відповідних місткостей:

$$h_{ij} = \frac{\sum_i D_i + \sum_j A_j}{2} \cdot p_i \cdot p_j, \quad (4.9)$$

$$p_i = \frac{D_i}{\sum_i D_i}, \quad (4.10)$$

$$p_j = \frac{A_j}{\sum_j A_j}, \quad (4.11)$$

де D_i – місткість i -го ТР (з табл. 4.6) по відправленню, ПЛІА/2 год, $i = 1, \dots, 30$;

A_j – місткість j -го ТР (з табл. 4.6) по прибуттю, ПЛІА/2 год, $j = 1, \dots, 30$;

p_i – ймовірність відправлення ТЗ з i -го ТР;

p_j – ймовірність прибуття ТЗ в j -й ТР.

Сформована матриця кореспонденцій була актуалізована (відкалібрована) за допомогою наявної в PTV[®] VISUM процедури TFlowFuzzy [25], що дозволила забезпечити відповідність моделі транспортного попиту реальним потокам ТЗ. Отримана в результаті МК наведена в додатку В.

З метою перевірки відповідності розрахункових (на основі матриці) ТП фактичним по формулі (2.5) була оцінена точність розрахунку інтенсивності ТП на двадцяти ділянках ВДМ в обох напрямках. Перші 11 з них відповідають раніше позначеним в'їздам-виїздам з району, інші 9 були обрані на внутрішніх магістралях району. Кількість і місце розташування цих ділянок визначалася інформативністю збираних даних для моделювання, доступними для дослідження ресурсами, а також з урахуванням потреби охоплення основних напрямів пересувань городян. Розташування контрольних ділянок на ВДМ наведено на рис. 4.9.

Обстеження інтенсивності руху на представлених контрольних ділянках були проведені у буденні дні в період з 19.07.2020 р. по 07.06.2021 р. Результати цих обстежень представлені в табл. 4.6.

Приведення інтенсивності ТП до ПЛІА було виконане за допомогою коефіцієнтів, відбитих в останньому рядку таблиці.



Умовні позначення:

- ▼ – контрольні ділянки ВДМ на в'їздах-виїздах з району;
- ◄ – контрольні ділянки ВДМ всередині району

Рисунок 4.9 – Місця порівняння розрахункових інтенсивностей ТП з фактичними

Таблиця 4.6 – Результати вимірів інтенсивності руху на контрольних ділянках всередині району Лонгб'єн

Місце заміру	Позначення напрямку руху (номер місця обстеження на рис. 4.8)	Легкові автомобілі	Мікроавтобуси (12-24 місця)	Великі автобуси (25-30 місць)	Бізнес-автобуси (>30 місць)	Громадські автобуси (>30 місць)	Малі вантажні автомобілі (< 2 т)	Середні вантажні автомобілі (2-10 т)	3-вісні вантажні автомобілі, контейнеро-вози (20-фут.)	Вантажні автомобілі з 4та більше осями, контейнеровози (40-фут.)	Мотоцикли	Приведені легкові автомобілі (ПЛА)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
вул. Nguyễn Văn Linh	23	2615	107	101	275	57	232	256	29	171	5079	7442
	24	2437	126	127	160	66	308	201	54	182	5179	7268

Закінчення таблиці 4.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
вул. Chu Huy Mân	25	1097	21	5	0	13	88	13	1	0	3083	2230
	26	879	37	2	1	11	69	5	2	1	3116	1988
дорога Đê Xuân Quan – Long Biên	27	813	25	4	2	7	57	91	0	0	2512	1913
	28	777	16	2	1	7	55	67	0	1	1520	1536
вул. Cổ Linh	29	903	39	7	3	6	98	33	3	0	3158	2175
	30	1013	46	16	11	5	93	36	1	0	2851	2262
вул. đê Vàng	31	42	3	0	1	0	30	2	0	0	166	174
	32	38	8	0	1	0	28	3	1	0	233	200
вул. Nguyễn Văn Cừ	33	1432	85	38	50	116	64	7	0	0	7903	4410
	34	1572	114	45	43	117	64	6	2	0	8124	4684
	35	1250	11	4	0	109	32	36	2	0	8132	3826
	36	1173	30	6	2	106	37	12	3	0	4609	2874
вул. Thạch Bàn	37	856	91	7	9	28	46	1	0	0	2455	1947
	38	412	21	0	4	28	45	2	5	0	2194	1242
вул. Ngọc Thụy	39	351	4	0	0	5	9	18	0	0	3021	1199
	40	160	4	0	1	5	10	10	0	0	1092	511
Коефіцієнт приведення		1	2,5	3	3	3	2,5	2,5	3	4	0,25	-

Результати оцінки точності моделювання ТП наведені в табл. 4.7. Згідно з даними в таблиці, середня відносна помилка розрахунку інтенсивності ТП в ранковий період-пік складає 2,08 %. Це свідчить про достатню точність розрахованої МК і вказує на те, що вона відбиває основні напрями пересувань населення та забезпечує можливість отримання інформації для оцінки практично будь-яких змін в ОДР по району.

Таблиця 4.7 – Порівняння фактичних і розрахункових інтенсивностей ТП в уранішній період-пік

Місце порівняння	Позначення напрямку руху (номер місця порівняння на рис. 4.9)	Інтенсивність ТП, ПЛА/2 год		Відносна помилка розрахунку інтенсивностей ТП, %
		фактична	розрахункова	
1	2	3	4	5
вул. Bắc Cầu	1	768	767	0,08
	2	374	373	0,27
міст Đông Trù	3	16360	16358	0,01
	4	13006	12971	0,27
міст Đuống	5	5360	5360	0,00
	6	4418	4420	0,04
міст Phù Đổng	7	7936	7931	0,06
	8	10391	10397	0,06
вул. đê Vàng	9	1197	1201	0,30
	10	1015	1014	0,11
вул. Nguyễn Đức Thuận	11	18438	18288	0,81
	12	14425	14384	0,28

Закінчення таблиці 4.7

1	2	3	4	5
дорога Đê Xuân Quan – Long Biên	13	1409	1337	5,12
	14	814	758	6,94
міст Thanh Trì	15	8253	8321	0,82
	16	10333	10385	0,50
міст Vin Tuy	17	8700	8706	0,07
	18	8703	8782	0,90
міст Chương Dương	19	6922	6835	1,26
	20	13522	13527	0,04
міст Long Biên	21	2882	2841	1,41
	22	1115	1184	6,18
вул. Nguyễn Văn Linh	23	7442	7558	1,56
	24	7268	7285	0,23
вул. Chu Huy Mân	25	2230	2238	0,34
	26	1988	1990	0,11
дорога Đê Xuân Quan – Long Biên	27	1913	2087	9,10
	28	1536	1551	0,98
вул. Cổ Linh	29	2175	1776	18,36
	30	2262	2054	9,18
вул. đê Vàng	31	174	170	2,26
	32	200	200	0,25
вул. Nguyễn Văn Cừ	33	4410	4383	0,61
	34	4684	4698	0,30
	35	3826	3821	0,14
	36	2874	2857	0,59
вул. Thạch Bàn	37	1947	2071	6,34
	38	1242	1325	6,72
вул. Ngọc Thụy	39	1199	1200	0,07
	40	511	514	0,65

Розподіл ТП в районі, отриманий на основі розрахованої МК, наведено на рис. 4.10. Він робився згідно з розробленим в даній роботі новим підходом, який описаний в підрозділі 2.2 і передбачає застосування процедури послідовного перерозподілу в PTV[®] VISUM з урахуванням затримок ТЗ на регульованих перехрестях, розрахованих по формулі (2.8). Вихідні дані для розрахунку цих затримок були взяті з табл. Б.1 додатку Б.



Рисунок 4.10 – Розподіл ТП в районі Лонгб’єн м. Ханой
в ранковий період-пік

Цей розподіл дозволив розрахувати матриці середніх ШР і відстаней поїздок між ТР, які наведені в табл. Г.1 і Г.2 додатку Г. Отримані швидкості руху дозволили, використовуючи формулу (3.3) і спираючись на методикку з пункту 4.1.2, розрахувати параметри і квантилі гамма-розподілу цієї ВВ для кожної пари ТР. При розрахунку 0,95-квантиля він порівнювався з діючим у В’єтнамі обмеженням швидкості ТЗ в містах – 50 км/год [120], – і якщо квантиль розподілу виявлявся більше цього обмеження, останнє бралось як максимальне значення ШР між парою ТР. Результати подібного інтервального оцінювання ШР в районі Лонгб’єн наведені в табл. Г.3 і Г.4 додатку Г.

Отримані швидкості руху послужили вихідними даними для застосування методик, викладених в підрозділі 4.1. В результаті були розраховані інтервальні

оцінки величин ШР і шуму прискорення при русі ТЗ в районі Лонгб'єн, а також об'ємів викидів ІТ шкідливих речовин в атмосферу, табл. 4.8. Ліва і права межі інтервалів можливих значень ШР і ШП були отримані як середньозважені по значеннях кореспонденцій у відповідній матриці. Межами величин викидів в атмосферу є сумарні значення їх емісії усіма ТЗ, пересування яких відбиті в МК.

Таблиця 4.8 – Узагальнені характеристики ТП в районі Лонгб'єн м. Ханой

Показник	Середнє значення	Межі інтервалу можливих значень
Швидкість руху, км/год	36,5	[26,5;46,3]
Шум прискорення, м/с ²	0,017	[0,005;0,052]
Об'єм викидів NO _x , кг	267,9	[264,3;276,2]
Об'єм викидів CO, кг	1200,5	[870,7;1648,8]
Об'єм викидів HC, кг	147,4	[113,6;199,0]
Об'єм викидів SO ₂ , кг	45706,8	[39427,3;56392,8]
Сумарні викиди шкідливих речовин, кг	47332,6	[40687,8;58504,9]

Тут слід зазначити, що значення шуму прискорення, об'ємів викидів CO, HC і SO₂ з ростом швидкості руху зменшуються [56, 110-115, 121-124], а величина викидів NO_x – росте [57, 122, 124, 125]. Це означає, що в приведених в табл. 4.8 інтервалах більші значення ШП, викидів CO, HC і SO₂ відповідають меншим значенням ШР, тоді як з викидами NO_x ситуація інша – більші об'єми емісії відповідають більшим швидкостям.

Підводячи підсумок під результатами моделювання ТП, з урахуванням отриманих характеристик можна стверджувати, що розроблена для району Лонгб'єн модель досить повно характеризує процеси пересувань ІТ по ВДМ і дозволила підтвердити можливість практичного застосування розроблених методик оцінки шуму прискорення і розрахунку об'ємів викидів шкідливих речовин.

4.3 Оцінка практичної придатності розроблених методик при характеристиці змін умов руху в міській вулично-дорожній мережі

Практична придатність розроблених методик оцінки шуму прискорення і розрахунку об'ємів викидів шкідливих речовин може бути перевірена, якщо додатково використовувати їх в інших умовах по відношенню до вже розглянутого прикладу. З іншого боку, для повної оцінки придатності розроблених методик на практиці також необхідно мати можливість простого порівняння результатів розрахунків для різних умов руху ТЗ, що дозволить зробити висновок про їх чутливість до зміни таких умов. У зв'язку з цим перевірку методик доцільно провести на тому ж самому об'єкті моделювання, але з умовами руху, зміненими так, щоб логічно можна було оцінити вплив очікуваних наслідків цих змін на об'єми викидів шкідливих речовин і шум прискорення.

До таких змін можуть бути віднесені результати реконструкції транспортної мережі і зміни ОДР в районі Лонгб'єн. Оскільки в дослідженні було показано, що пропускна спроможність ділянок ВДМ в міських умовах рідко впливає на ШР ТЗ, ту увагу доцільно приділити перехрестям ВДМ, найбільш навантаженими з яких є регульовані. Тому підвищення ефективності ОДР на таких перехрестях є найдієвішим інструментом поліпшення транспортної ситуації в районі і найбільшою мірою підходить для цілей даного дослідження.

Реконструкція перехресть є дієвим інструментом зміни ОДР на них, проте вона серйозно обмежена доступністю міської території і високою вартістю реалізації проектів реконструкції. Основною перешкодою для розгляду реконструкції перехресть в даній роботі є специфічність таких заходів для конкретних локальних умов, яка обумовлена проектним, а не інженерним характером планувальних рішень. Така специфічність (унікальність), з одного боку, серйозно підвищує витрати праці на розробку пропозицій, а з іншого – істотно погіршує сприйняття змін і ускладнює зіставлення результатів використання розроблених для оцінки шуму

прискорення і розрахунку об'ємів викидів шкідливих речовин в атмосферу методик в різних умовах.

Тому основним засобом зміни ОДР в районі Лонгб'єн в даній роботі доцільно прийняти стандартні інженерні розрахунки, спрямовані на підвищення ефективності рухи ТЗ, до яких належить розрахунок раціональних циклів світлофорного регулювання. Для такого розрахунку існують загальноприйняті методи, і він може бути виконаний для усіх РП в районі. Це дозволить охопити найзавантаженішу частину ВДМ району і тим самим максимізувати вплив змін в ОДР на результати функціонування мережі. Використання єдиної методики обчислення раціональних циклів світлофорного регулювання створить зрозумілу базу порівняння для результатів розрахунків шуму прискорення і об'ємів викидів шкідливих речовин, що дозволить сформулювати найбільш загальні висновки відносно практичної придатності розроблених методик.

Першим кроком розрахунку раціональних циклів світлофорного регулювання в районі Лонгб'єн стала формалізація параметрів роботи світлофорів, тобто їх зведення в єдину таблицю, що відбиває тривалість основних тактів (фаз світлофорного циклу) і циклів в цілому, табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Параметри циклів світлофорного регулювання і кількість смуг на перехрестях району Лонгб'єн

Вузол (перехрестя) в РТВ® VISUM	Назва перехрестя (перехрещувані вулиці)	Тривалість циклу, с	Фаза №1 (основний напрямок руху*)		Фаза №2 (другорядний напрямок руху)		Фаза №3 (для лівоповоротних потоків)	
			Тривалість сигналу, що дозволяє рух, с	Кількість смуг	Тривалість сигналу, що дозволяє рух, с	Кількість смуг	Тривалість сигналу, що дозволяє рух, с	Кількість смуг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Nguyen Van Cu – Hoang Nhu Tiep	125	55	2	20	1	35	1
2	Hoang Nhu Tiep – Pho Ai Mo	70	40	3	20	1	-	-
3	Nguyen Van Cu – Nguyen Son	120	50	3	31	2	26	1

Закінчення таблиці 4.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Ngoc Lam – Nguyen Van Cu	86	50	3	26	1	-	-
5	Ngo Gia Tu – Vu Duc Than	90	35	2	20	2	20	1
6	Ngo Gia Tu – Hoa Lam	87	40	2	17	1	15	1
7	Ngo Gia Tu – Duc Giang – Truong Lam	105	40	3	20	1	30	1
8	Ngo Gia Tu – Nguyen Cao Luyen	110	40	2	30	2	25	1
9	Dang Vu Hy – Thanh Am	70	35	2	25	1	-	-
10	Co Linh – Xuang Quang	97	45	2	20	1	17	1
11	Co Linh – Vinh Tuy bridge	130	65	4	25	5	25	2
12	Co Linh – Thach Ban	125	50	2	40	2	25	1
13	Co Linh – Thach Ban (high school)	99	50	2	17	1	17	1
14	Nguyen Van Linh – Regiment 918	100	50	2	20	1	15	1
15	Sai Dong – Nguyen Van Linh	130	65	2	25	2	25	1
16	Thach Ban – Nguyen Van Linh	135	60	2	25	1	35	1
17	Nguyen Lam – Chu Huy Man	135	65	2	30	1	25	1
18	Nguyen Van Linh – Viet Hung	122	65	2	17	1	25	1
19	Doan Khue – Viet Hung	63	35	3	18	1	-	-
20	Doan Khue – Nguyen Cao Luyen	64	36	3	20	1	-	-
21	Doan Khue – Van Hanh	87	35	2	20	2	17	1
22	Van Hanh – Nguyen Cao Luyen	64	36	2	20	1	-	-
23	Phuc Loi – Mai Chi Tho – Luu Khanh Dam	125	50	2	20	1	40	1
24	Viet Hung – Vu Duc Thuan	58	29	2	19	1	-	-
25	Viet Hung – Ngo 155 Pho Viet Hung	60	30	1	20	1	-	-

Примітка. * – напрямок руху з найбільшою питомою інтенсивністю ТП на одну смугу руху (найбільшим критичним потоком).

Далі, для кожного основного такту були визначені інтенсивності транспортних потоків на під'їздах до перехрестя. Потоки для перехресть приймалися зі сформованої транспортної моделі району Лонгб'єн, в якій вони були розраховані для ранкового періоду пік тривалістю 2 години в приведених до легкового автомобіля одиницях. З усіх ТП на під'їзді до перехрестя для подальших розрахунків приймався той, який має найбільшу питому інтенсивність на одну смугу руху, – критичний потік для кожного основного такту світлофорного циклу, табл. 4.10.

Дані табл. 4.10 є достатніми для визначення раціональних параметрів світлофорних циклів, оскільки відбивають критичну інтенсивність ТП для усіх основних тактів циклу на кожному перехресті.

Таблиця 4.10 – Розрахункові інтенсивності ТП для основних тактів світлофорного регулювання на перехрестях району Лонгб'єн, ПЛА/2 год

Вузол (перехрестя) в РТВ® VISUM	Назва перехрестя (перехрещувані вулиці)	Інтенсивність ТП на основному напрямку руху (під час фази №1)		Інтенсивність ТП на другорядному напрямку руху (під час фази №2)		Інтенсивність лівоповоротних потоків під час фази №3	
		абсолютна	питома – на одну смугу руху	абсолютна	питома – на одну смугу руху	абсолютна	питома – на одну смугу руху
1	Nguyen Van Cu – Hoang Nhu Tiep	1914	957	348	348	609	609
2	Hoang Nhu Tiep – Pho Ai Mo	1544	515	168	168	-	-
3	Nguyen Van Cu – Nguyen Son	2457	819	2008	1004	844	844
4	Ngoc Lam – Nguyen Van Cu	4662	1554	628	628	-	-
5	Ngo Gia Tu – Vu Duc Than	1407	704	1608	804	804	804
6	Ngo Gia Tu – Hoa Lam	3620	1810	176	176	210	210
7	Ngo Gia Tu – Duc Giang – Truong Lam	3488	1163	985	985	918	918
8	Ngo Gia Tu – Nguyen Cao Luyen	2065	1033	1351	676	564	564
9	Dang Vu Hy – Thanh Am	1568	784	398	398	-	-
10	Co Linh – Xuang Quang	3444	1722	26	26	261	261
11	Co Linh – Vinh Tuy bridge	4530	1133	1544	309	2201	1101
12	Co Linh – Thach Ban	2644	1322	954	477	578	578
13	Co Linh – Thach Ban (high school)	2990	1495	1084	1084	499	499
14	Nguyen Van Linh – Regiment 918	3058	1529	1143	1143	158	158
15	Sai Dong – Nguyen Van Linh	2441	1221	1899	950	335	335
16	Thach Ban – Nguyen Van Linh	3175	1588	248	248	954	954
17	Nguyen Lam – Chu Huy Man	2189	1095	669	669	348	348
18	Nguyen Van Linh – Viet Hung	2399	1200	1167	1167	224	224
19	Doan Khue – Viet Hung	1322	441	597	597	-	-
20	Doan Khue – Nguyen Cao Luyen	1332	444	540	540	-	-
21	Doan Khue – Van Hanh	2230	1115	743	372	649	649
22	Van Hanh – Nguyen Cao Luyen	2556	1278	632	632	-	-
23	Phuc Loi – Mai Chi Tho – Luu Khanh Dam	1455	728	613	613	549	549
24	Viet Hung – Vu Duc Thuan	1975	988	1304	1304	-	-
25	Viet Hung – Ngo 155 Pho Viet Hung	1304	1304	978	978	-	-

Характеристики пішохідних потоків в таких розрахунках використовуються тільки як обмеження, оскільки у разі потреби ПС пішохідних переходів на перехре-

сті відносно легко можна збільшити за рахунок ширини самого переходу. Причому це збільшення відбувається за рахунок ділянки проїзної частини перед перехрестям і практично не відбивається на ПС перехрестя в цілому. Тому пішохідні потоки лише обмежують тривалість основних тактів знизу тим часом, який потрібен для переходу ними проїзної частини вулиці, що перетинається, або частини вулиці у разі наявності розділової смуги на ній, і повинні враховуватися тільки в самих крайніх випадках.

Для розрахунку раціональної тривалості світлофорних циклів була прийнята класична методика їх визначення, розроблена Ф. Вебстером [95]. Ця методика пройшла багатократну перевірку і підтвердила свою працездатність в самих різних умовах, незважаючи на її емпіричний характер. Згідно з нею, раціональна тривалість циклу світлофорного регулювання C визначається по формулі

$$C = \frac{1,5 \cdot L + 5}{1 - Y}, \quad (4.12)$$

де L – час, втрачений за світлофорний цикл на переходи між фазами, с;

Y – загальне навантаження на світлофорний об'єкт.

Загальне навантаження на світлофорний об'єкт визначається як сума критичних потоків усіх основних тактів циклу, що ділиться на потік насичення, і за який в цій роботі приймається значення 1800 од./год для приведених до легкових автомобілів потоків.

Тривалість циклу коригується з урахуванням: 1) мінімально допустимої його тривалості, яка, виходячи з фактичних даних, дорівнює 58 с, табл. 4.9; 2) мінімально допустимої тривалості основного такту, рівної 7 с [126]. Загальна тривалість зеленого сигналу розподіляється між кожним основним тактом пропорційно критичному навантаженню відповідних підходів до перехрестя. З практичної точки зору усі отримані результати розрахунків округляються вгору до цілих секунд, табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Раціональні цикли світлофорного регулювання на перехрестях району Лонгб'єн

Вузол (перехрестя) в PTV® VISUM	Назва перехрестя (перехрещувані вулиці)	Тривалість сигналу, що дозволяє рух, с, для			Тривалість циклу, с
		фази №1 (для основного напрямку руху)	фази №2 (для другорядного напрямку руху)	фази №3 (для лівоповоротних потоків)*	
1	Nguyen Van Cu – Hoang Nhu Tiep	22	8	14	59
2	Hoang Nhu Tiep – Pho Ai Mo	36	12	-	58
3	Nguyen Van Cu – Nguyen Son	25	31	26	95
4	Ngoc Lam – Nguyen Van Cu	34	14	-	58
5	Ngo Gia Tu – Vu Duc Than	19	22	22	78
6	Ngo Gia Tu – Hoa Lam	46	7	7	75
7	Ngo Gia Tu – Duc Giang – Truong Lam	65	55	51	186
8	Ngo Gia Tu – Nguyen Cao Luyen	27	18	15	75
9	Dang Vu Hy – Thanh Am	32	16	-	58
10	Co Linh – Xuang Quang	41	7	7	70
11	Co Linh – Vinh Tuy bridge	35	10	34	94
12	Co Linh – Thach Ban	27	10	12	59
13	Co Linh – Thach Ban (high school)	85	62	28	190
14	Nguyen Van Linh – Regiment 918	62	46	7	130
15	Sai Dong – Nguyen Van Linh	37	29	10	91
16	Thach Ban – Nguyen Van Linh	61	10	37	123
17	Nguyen Lam – Chu Huy Man	27	16	9	67
18	Nguyen Van Linh – Viet Hung	39	38	7	99
19	Doan Khue – Viet Hung	20	28	-	58
20	Doan Khue – Nguyen Cao Luyen	23	27	-	58
21	Doan Khue – Van Hanh	28	9	16	68
22	Van Hanh – Nguyen Cao Luyen	33	17	-	58
23	Phuc Loi – Mai Chi Tho – Luu Khanh Dam	17	14	12	58
24	Viet Hung – Vu Duc Thuan	21	27	-	58
25	Viet Hung – Ngo 155 Pho Viet Hung	27	21	-	58

Примітка. * – значення «-» в стовпці означає відсутність виділеної фази для лівоповоротних потоків на основному напрямку руху (третьої фази) – це означає те, що на перехресті застосовується двофазне регулювання.

Ефективність використання раціональних світлофорних циклів була оцінена за допомогою розроблених у рамках даного дослідження методик і транспортної

моделі району Лонгб'єн. Модель дозволила отримати новий розподіл ТП, який представлений на рис. 4.11, а також розрахувати матриці середніх швидкостей і відстаней поїздок між об'єктами тяжіння в районі, наведені в табл. Г.5 і Г.6 додатку Г. Отримані швидкості стали вихідними даними для розрахунку інтервальних оцінок величин ШР (табл. Г.7 і Г.8 додатку Г), шуму прискорення при русі ТЗ між ТР, об'ємів викидів ІТ при застосуванні раціональних світлофорних циклів в ОДР на ВДМ району Лонгб'єн, табл. 4.12.



Рисунок 4.11 – Розподіл ТП в районі Лонгб'єн м. Ханой при використанні раціональних світлофорних циклів

Таблиця 4.12 – Узагальнені характеристики ТП в районі Лонгб'єн м. Ханой при використанні раціональних світлофорних циклів

Показник	Середнє значення	Межі інтервалу можливих значень
Швидкість руху, км/год	36,7	[26,6;46,5]
Шум прискорення, м/с ²	0,016	[0,005;0,050]
Об'єм викидів NO _x , кг	266,6	[263,1;274,8]
Об'єм викидів CO, кг	1193,7	[865,3;1639,8]
Об'єм викидів HC, кг	146,6	[113,0;197,9]
Об'єм викидів SO ₂ , кг	45451,7	[39204,7;56083,3]
Сумарні викиди шкідливих речовин, кг	47058,6	[40457,8;58184,1]

Порівняння наведених в таблиці показників з показниками пересувань ТЗ при існуючих світлофорних циклах свідчить про позитивний вплив раціоналізації циклів на транспортну ситуацію в районі Лонгб'єн. Кількісна характеристика поліпшення транспортної ситуації наведена в табл. 4.13.

Таблиця 4.13 – Порівняння характеристик ТП в районі Лонгб'єн при існуючих і раціональних світлофорних циклах

Показник	Середнє значення при світлофорних циклах		Відносне відхилення, ± %
	існуючих	раціональних	
Швидкість руху, км/год	36,5	36,7	+0,55 %
Шум прискорення, м/с ²	0,017	0,016	-5,88 %
Об'єм викидів NO _x , кг	267,9	266,6	-0,49 %
Об'єм викидів CO, кг	1200,5	1193,7	-0,57 %
Об'єм викидів HC, кг	147,4	146,6	-0,54 %
Об'єм викидів SO ₂ , кг	45706,8	45451,7	-0,56 %
Сумарні викиди шкідливих речовин, кг	47322,6	47058,6	-0,56 %

Як видно, застосування раціональних світлофорних циклів дозволяє збільшити середню ШР транспорту між об'єктами тяжіння в районі, підвищити рівномірність руху (зменшити шум прискорення ТЗ) і знизити об'єми усіх видів викидів шкідливих речовин в атмосферу з вихлопними газами автомобілів.

Окрему увагу слід приділити заощадженню часу на проїзд регульованих перехресть, оскільки в даному випадку саме вона є основним джерелом збільшення швидкості руху. Розраховавши по формулі (2.7) значення часу очікування ТЗ можливості проїзду РП для існуючих і раціональних світлофорних циклів і порівнявши їх, можна отримати орієнтовні сумарні витрати часу водіїв, викликані простоями на перехрестях протягом ранкового періоду-пік (з 7:00 до 9:00), табл. 4.14.

Таблиця 4.14 – Результати розрахунків часу очікування ТЗ можливості проїзду РП для існуючих і раціональних світлофорних циклів в районі Лонгб'єн м. Ханой протягом ранкового періоду-пік

Вузол (перехрестя) в PTV® VISUM	Назва перехрестя (перехрещувані вулиці)	Сумарний час очікування можливості проїзду РП, год, з розподілом по ТЗ, що рухається під час фаз					
		існуючих світлофорних циклів			раціональних світлофорних циклів		
		фаза №1	фаза №2	фаза №3	фаза №1	фаза №2	фаза №3
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Nguyen Van Cu – Hoang Nhu Tiep	10,4	4,3	5,5	6,2	2,1	2,9
2	Hoang Nhu Tiep – Pho Ai Mo	2,8	0,8	-	1,8	0,9	-
3	Nguyen Van Cu – Nguyen Son	13,9	18,4	8,6	17,6	12,0	5,9
4	Ngoc Lam – Nguyen Van Cu	9,8	3,7	-	6,4	2,9	-
5	Ngo Gia Tu – Vu Duc Than	6,6	12,2	6,1	8,7	9,0	4,5
6	Ngo Gia Tu – Hoa Lam	12,8	1,4	1,7	5,6	1,5	1,8
7	Ngo Gia Tu – Duc Giang – Truong Lam	19,5	9,4	6,8	38,1	12,6	12,5
8	Ngo Gia Tu – Nguyen Cao Luyen	12,8	10,9	5,1	8,8	8,1	3,8
9	Dang Vu Hy – Thanh Am	3,8	1,6	-	2,5	1,7	-
10	Co Linh – Xuang Quang	13,3	0,2	2,4	5,7	0,2	2,1

Закінчення таблиці 4.14

1	2	3	4	5	6	7	8
11	Co Linh – Vinh Tuy bridge	20,4	18,2	25,9	23,3	16,1	11,7
12	Co Linh – Thach Ban	16,5	7,7	6,4	6,4	5,4	3,0
13	Co Linh – Thach Ban high school	10,1	10,2	4,7	24,1	13,0	9,6
14	Nguyen Van Linh – Regiment 918	10,6	10,2	1,6	15,1	8,6	2,6
15	Sai Dong – Nguyen Van Linh	11,0	22,4	3,9	10,9	11,1	3,4
16	Thach Ban – Nguyen Van Linh	18,4	3,1	9,8	13,8	3,6	8,0
17	Nguyen Lam – Chu Huy Man	11,0	7,6	4,3	7,3	3,6	2,4
18	Nguyen Van Linh – Viet Hung	8,9	14,6	2,4	12,1	6,1	2,7
19	Doan Khue – Viet Hung	2,3	2,7	-	4,6	1,3	-
20	Doan Khue – Nguyen Cao Luyen	2,3	2,3	-	3,9	1,2	-
21	Doan Khue – Van Hanh	9,6	5,3	5,1	7,3	5,3	3,6
22	Van Hanh – Nguyen Cao Luyen	4,3	2,7	-	3,8	2,5	-
23	Phuc Loi – Mai Chi Tho – Luu Khanh Dam	9,1	7,5	4,4	5,9	2,8	2,8
24	Viet Hung – Vu Duc Thuan	4,0	4,7	-	6,5	3,0	-
25	Viet Hung – Ngo 155 Pho Viet Hung	2,7	3,6	-	3,0	3,2	-
Сумарні витрати часу на очікування можливості проїзду РП, год		246,9	185,6	104,9	249,4	138,0	83,0
Загальні затримки ТЗ при проїзді РП, год		537,4			470,3		

Реальні загальні затримки на перехрестях будуть ще дещо менші через те, що: 1) формула (2.7) дає оцінку затримки на перехресті при нульовому навантаженні на нього; 2) в PTV[®] VISUM відсутня можливість детального моделювання черг перед перехрестями і частин цих черг, що встигли проїхати за кожен сигнал, що дозволяє рух – відповідно, не враховується заощадження часу тих учасників руху, які, знаходячись в черзі перед РП, не встигають проїхати перехрестя за один зелений сигнал світлофора. В результаті нижня оцінка зменшення сумарних затримок

ТЗ на перехрестях дорівнює 12,47 %, що є істотною економією витрат часу на проїзд РП.

Ще важливо відмітити, що проведені розрахунки багато в чому стали можливі завдяки використанню розробленого нового підходу до розподілу ТП – на основі їх затримок на РП. Стандартний же підхід до розподілу – на основі пропускної спроможності ділянок ВДМ – не дозволив би дати порівняльну оцінку розглянутих в цьому підрозділі змін у функціонуванні системи індивідуального транспорту, оскільки не враховує згадані затримки. Таким чином, врахування цих затримок є важливою перевагою нового підходу з інженерної точки зору і додатково підтверджує користь його практичного застосування.

Підводячи підсумок під вищевикладеним, можна зробити висновок про те, що розроблені методики оцінки шуму прискорення і об'ємів викидів шкідливих речовин, а також підхід до розподілу ТП є повністю придатними для застосування на практиці. Вони дозволяють проводити порівняльну оцінку змін в ОДР в навантажених ВДМ за багатьма показниками, що було продемонстровано на прикладі раціоналізації світлофорних циклів в районі Лонгб'ен м. Ханой.

Висновки по четвертому розділу

1. Розроблена методика розрахунку прискорень ТЗ при їх роз'їзді на зелений сигнал світлофора на регульованому перехресті враховує закономірності в значеннях ШР перед стоп-лінією і дозволяє отримати необхідні дані для оцінки шуму прискорення як міри комфорту і втрат енергії при русі у складі міських ТП.

2. Результати проведених теоретичних і експериментальних досліджень дозволили отримати модель для прогнозування шуму прискорення залежно від середньої ШР в міських умовах, яку можна використовувати при оцінці якості ОДР для різних умов руху.

3. Розроблена методика розрахунку об'ємів викидів шкідливих речовин з вихлопними газами ТЗ створює можливості для інтервальної оцінки впливу ТП на навколишнє середовище, а також надає інструментарій для порівняльного аналізу змін у міських транспортних системах, у тому числі заходів по ОДР.

4. Розроблена для ранкового періоду-пік транспортна модель району Лонгб'ен міста Ханой досить точно відображає попит на транспортні пересування, що підтверджується середньою відносною помилкою розрахунку інтенсивності ТП, рівною 2,08 %. Це свідчить про адекватне відображення характеристик процесів пересувань ІТ по ВДМ району і придатність моделі для практичної реалізації розроблених методик оцінки шуму прискорення і розрахунку об'ємів викидів шкідливих речовин транспортними засобами.

5. Результати моделювання ТП в районі Лонгб'ен м. Ханой дозволили сформулювати пропозиції по раціоналізації світлофорних циклів на регульованих перехрестях району. При застосуванні пропонованих світлофорних циклів сумарні затримки ТЗ на РП району повинні зменшитися 12,47 %, середня швидкість пересування – збільшитися на 0,55 %, викиди шкідливих речовин – зменшитися на 0,56 %, шум прискорення – знизитися на 5,88 %.

6. Новий підхід до розподілу ТП на основі їх затримок на РП зробив можливою в PTV® VISUM (та в інших пакетах транспортного планування) порівняльну оцінку змін параметрів світлофорних циклів, оскільки стандартні варіанти розподілу ТП на основі пропускної спроможності ділянок ВДМ не враховують затримки ТЗ на світлофорах. Така можливість є важливою перевагою розробленого підходу і додатково підтверджує доцільність його практичного застосування.

7. Розроблені методики оцінки шуму прискорення і об'ємів викидів шкідливих речовин є повністю придатними для застосування на практиці – вони дозволяють проводити порівняльну оцінку змін в ОДР в навантажених ВДМ, що було підтверджено на прикладі раціоналізації світлофорних циклів в районі Лонгб'ен м. Ханой.

Основні результати проведених досліджень в рамках цього розділу опубліковані в роботах [5, 10].

ВИСНОВКИ

1. У більшості існуючих підходів до прогнозування швидкості руху транспортних засобів її оцінка здійснюється на рівні середніх значень в точці або на ділянці проїзної частини у будь-яких умовах руху. Така ж ситуація властива і сучасним програмним продуктам для моделювання транспортних потоків, в яких їх розподіл робиться в залежності не стільки від швидкості або часу проїзду ділянок і перехресть вулично-дорожньої мережі, скільки від пропускної спроможності смуги руху, значення якої на сьогоднішній день обґрунтовані недостатньо. В той же час, очевидним є той факт, що значення швидкості транспортного засобу в конкретному місці і в конкретний момент часу є випадковим. Це вказує на доцільність вивчення швидкості в місті як випадкової величини і встановлення закону її розподілу.

2. При моделюванні розподілу транспортних потоків достатньо належним чином описати затримки транспортних засобів на перехрестях, що виключає необхідність задавати обмеження по пропускній спроможності ділянок, оскільки пропускна спроможність ділянки вулично-дорожньої мережі визначається пропускною спроможністю регульованих перехресть на ній. На цій основі був розроблений підхід до розподілу транспортних потоків, заснований на оцінці їх затримок на перехрестях. Він дозволяє точніше прогнозувати характеристики потоків транспорту в порівнянні з поширеним розподілом на основі пропускної спроможності ділянок вулично-дорожньої мережі.

3. При ускладненні умов дорожнього руху нормальний розподіл швидкості легкових автомобілів трансформується в показниковий. Зв'язуючою ланкою в цій трансформації виступає гамма-розподіл, параметр форми якого знижується по мірі ускладнення умов руху, характерного для міських вулично-дорожніх мереж. У найскладніших з точки зору швидкості умовах – перед стоп-лінією регульованого перехрестя – він прямує до 1, внаслідок чого гамма-розподіл наближається до свого окремого випадку – показникового розподілу.

4. Результати експериментальних досліджень швидкості легкових автомобілів як в зоні впливу регульованих перехресть, так і звуження проїзної частини підт-

верджують зниження середньої швидкості руху автомобілів і ріст її стандартного відхилення в таких місцях. Міські регульовані перехрестя дуже істотно ускладнюють умови руху в порівнянні з вільними, а також чинять більший вплив на швидкість транспорту, ніж звуження проїзної частини. Обидві ці тенденції в сукупності призводять до зниження параметра форми гамма-розподілу до значень $[0,651; 1,152]$, що свідчить про його наближення до одиниці.

5. Зібрані в ході даного дослідження значення швидкості легкових автомобілів разом з результатами попередніх спостережень за швидкістю в містах різних країн дозволили отримати регресійну залежність між середньою швидкістю руху і параметром форми гамма-розподілу, придатного для опису закономірностей в значеннях швидкості. Ця залежність має досить високі прогностичні здібності, на що вказує множинний коефіцієнт кореляції між незалежною і залежною змінними, рівний 96,3 %. Отриману залежність можна використовувати для того, щоб на основі середнього значення швидкості повністю охарактеризувати розподіл даної випадкової величини.

6. Встановлені закономірності коливання швидкості індивідуального транспорту в містах дозволили розробити методику оцінки шуму прискорення транспортних засобів при їх роз'їзді на зелений сигнал світлофора на регульованому перехресті, а також методику інтервальної оцінки обсягів викидів шкідливих речовин з вихлопними газами автомобілів. Обидві методики були застосовані при моделюванні транспортних потоків у районі Лонгб'єн м. Ханой. Результати моделювання дозволили сформулювати пропозиції щодо раціоналізації світлофорних циклів на регульованих перехрестях району, що дозволяє підвищити ефективність організації дорожнього руху. Так, у ранковий період-пік з 7:00 до 9:00 сумарні затримки транспортних засобів на регульованих перехрестях району Лонгб'єн мають зменшитися з 537,4 год до 470,3 год, тобто на 12,47 %, середня швидкість пересування між об'єктами тяжіння – збільшитися з 36,5 км/год до 36,7 км/год, тобто на 0,55 %, сумарні викиди шкідливих речовин – зменшитися з 47322,6 кг до 47058,6 кг, тобто на 0,56 %, шум прискорення під час поїздок між об'єктами тяжіння – знизитися з $0,017 \text{ м/с}^2$ до $0,016 \text{ м/с}^2$, тобто на 5,88 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лобашов А.О., Ву Дык Минь. Методика прогнозирования поведения транспортных потоков в городах. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2002. № 18. С. 77–79.
2. Макаричев А.В., Горбачёв П.Ф., Ву Дык Минь, Горбачёва Е.А. Распределение скорости движения автомобилей перед стоп-линией городского регулируемого перекрёстка. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2019. № 85. С. 107–116.
3. Ву Дык Минь, Горбачев П.Ф., Колий А.С., Свичинский С.В. Распределение потоков индивидуального автотранспорта в городских сетях на основе задержек на перекрёстках. *Автомобільний транспорт*. 2020. № 46. С. 47–62.
4. Horbachov P., Vũ Đức Minh, Svichynskyi S., Shtanko I. The Changes in Vehicle Speed Distribution Related to Complicated Traffic Conditions in Cities. *Transport, Ecology – Sustainable Development: Proceedings of the technical and scientific conference ECO Varna (Varna, 13-15 May 2021)*. Varna, 2021. P. 34–43.
5. Ву Дык Минь. Подход к оценке шума ускорения на основе средней скорости движения автомобилей. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2021. № 3(78). С. 27–35.
6. Ву Дык Минь, Горбачев П.Ф., Колий А.С., Свичинский С.В. Подход к распределению городских транспортных потоков на основе параметров светофорных циклов. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: зб. наук. праць за матеріалами VIII міжнар. наук.-практ. інтернет-конф.) 14-15 квітня 2020 р.)*. Вінниця, 2020. С. 98–102.
7. Горбачев П.Ф., Ву Дык Минь, Свичинский С.В. Исследование закономерностей в значениях скорости автомобилей перед стоп-линией регулируемого перекрёстка. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали II Всеукр. наук.-техн. інтернет-конф. (9-11 листопада 2020 р.)*. Рівне, 2020. С. 34–36.

8. Горбачев П.Ф., Ву Дык Минь, Свичинский С.В. Методика замеров скорости движения транспортных средств перед стоп-линией регулируемого перекрёстка. *Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту*: матеріали VII міжнар. наук.-техн. конф. (11-13 листопада 2020 р.). Кременчук, 2020. С. 86–87.

9. Ву Дык Минь, Свичинский С.В. Влияние городских регулируемых перекрёстков на распределение скорости движения мотоциклов. *Напрями розвитку технологічних систем і логістики в АПВ*: матеріали III міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (22 квітня 2021 р.). Харків, 2021. С. 96–98.

10. Новый підхід до побудови жорстких світлофорних циклів для перехресть міських вулиць: свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір / Горбачов П.Ф., Ву Дик Минь, Шевченко В.В. (Україна). № 88689; зареєстровано 20.05.2019.

11. Иванов І., Ву Дик Минь, Свичинський С. Особливості планування вибіркового обстеження мобільності в місті. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем*: матеріали Всеукр. наук.-техн. інтернет-конф. (28-29 листопада 2019 р.). Рівне, 2019. С. 53–55.

12. Горбачов П.Ф., Ву Дик Минь, І.І. Штанько. Закономірності розподілу швидкості руху транспортних засобів на міських вулицях. *Сучасні інформаційні системи*. 2020. № 4(2). С. 163–169.

13. Garber N.J., Hoel L.A. *Traffic and Highway Engineering* : fourth edition. Toronto: Cengage Learning, 2009. 1230 p.

14. Ortuzar J.D., Willumsen L.G. *Modelling Transport* : fourth edition. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2011. 586 p.

15. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков / В.И. Швецов. *Автоматика и телемеханика*. 2003. № 11. С. 3–46.

16. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / Гасников А.В. и др.; под ред. А.В. Гасникова. М.: МФТИ, 2010. 362 с.

17. Капский Д.В., Навой Д.В., Пегин П.А. Разработка модели транспортных потоков на улично-дорожной сети города. *Наука и техника*. 2019. № 18(1). С. 47–54.

18. Ugirumurera J., Gomesy G., Xiaoye S.L., Bayen A. A unified software framework for solving traffic assignment problems. *CoRR*. 2018. URL: <https://arxiv.org/abs/1804.11026>.
19. Gawron C. Simulation-Based Traffic Assignment. Computing User Equilibria in Large Street Networks : Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen. Köln, 1998. 119 P. URL: <https://kups.ub.uni-koeln.de/9257/1/GawronDiss.pdf>.
20. Saw K., Katti B.K., Joshi G. Literature Review of Traffic Assignment: Static and Dynamic. *International Journal of Transportation Engineering*. 2015. Vol. 2-4. P. 339–347.
21. He X., Guo X., Liu H.X. A Link-Based Day-to-Day Traffic Assignment Model. *Transportation Research: Part B: Methodological*. 2010. № 44(4). P. 597–608. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/72765792.pdf>.
22. Highway Capacity Manual. Washington: TRB, 2010. 1134 p.
23. Teply S., Allingham D.I., Richardson D.B., Stephenson B.W. Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections. Ottawa: Institute of Transportation Engineers, 2008. 232 p.
24. Guide to Traffic Management. Part 3: Traffic Studies and Analysis. Sydney: Austroads, 2009. 197 p.
25. PTV® VISUM 21 Manual / PTV AG. Karlsruhe, 2020. 3223 p.
26. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения : учеб. пособие для ВТУЗов, 2-е изд., стер. М.: Высшая школа, 2000. 480 с.
27. Cascetta E. Transportation Systems Engineering: Theory and Methods. Boston, MA: Springer US, 2001. 710 p.
28. Managing Speed. Review of Current Practices for Setting and Enforcing Speed Limits : Transportation Research Board Special Report 254. Washington, D.C.: National Research Council, 1998. 427 p.
29. Tefft B.C. Impact Speed and a Pedestrian's Risk of Severe Injury or Death : Technical Report. Washington, D.C.: AAA Foundation for Traffic Safety, 2011. 17 p.

30. Taylor M.C., Lynam D.A., Baruya A. The effects of drivers' speed on the frequency of road accidents : TRL REPORT 421. Crowthorne: Transport Research Laboratory, 2000. 56 p.
31. Berry D.S., Belmont D.M. Distribution of vehicle speeds and travel times. *Proc. Second Berkeley Symp. on Math. Statist. and Prob.* (July 31-August 12, 1950). Berkeley, 1951. P. 589–602.
32. Patel C., Sharma J., Solanki J., Thakkar C., Prajapati N., Naik S. Spot speed study at A.V. road. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education*. 2018. № 4(2). P. 3207–3209.
33. Khan J.A., Tarry S.R. Speed spot study by comparing time mean speed and space mean speed: A case study. *International Journal of Advanced Science and Research*. 2018. № 3(1). P. 97–102.
34. Frith W.J., Patterson T.L. Speed variation, absolute speed and their contribution to safety, with special reference to the work of Solomon. *Technical Conference Papers*. 2001. 8 p. URL: https://www.transportationgroup.nz/papers/2001/S11_Frith.pdf.
35. Free speed survey 2011 (Urban and Rural). Ballina: Road Safety Authority, Research Department, 2012. 50 p.
36. Down with Speed: A Review of the Literature, and the Impact of Speed on New Zealanders. Wellington: Accident Compensation Corporation and Land Transport Safety Authority, 2000. 81 p.
37. Murray D., Steven J. Empirical Analysis of Truck and Automobile Speeds on Rural Interstates: Impact of Posted Speed Limits. *Transportation Research Board 89th Annual Meeting: Compendium of Papers* (January 10-14, 2010). Washington DC, 2010. Paper Number: 10-0833, 13 p.
38. Vadeby A., Forsman A. Speed distribution and traffic safety measures. *Transport Solutions: From Research to Deployment* : Transport Research Arena conference (14/17 April 2014). Paris, 2014. 10 p.
39. Halder S., Islam A., Alam R.D. Traffic Speed Study Technical Report. Dhaka: Ahsanullah University of Science and Technology, 2013. 55 p.
40. Hunt P., Larocque B., Gienow W. Analysis of 110 km/hr Speed Limit: Imple-

mentation on Saskatchewan Divided Rural Highways. *2004 Annual Conference of the Transportation Association of Canada Québec City* (19-22 September 2004). Québec, 2004. 20 p.

41. Говорущенко Н.Я. Системотехника автомобильного транспорта (расчётные методы исследований) : монография. Харьков: ХНАДУ, 2011. 292 с.

42. Власов А.Б. Геоэкологическая оценка условий движения и выбросов от автотранспортных средств на улично-дорожной сети города (на примере г. Воронежа) : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36. Воронеж, 2005. 24 с.

43. Chung C.C., Gartner N. Acceleration Noise as a Measure of Effectiveness in the Operation of Traffic Control Systems : working paper. Cambridge: Operations Research Center, Massachusetts Institute of Technology, 1973. 41 p.

44. Babu Y.S., Pattnaik S.B. Acceleration Noise and Level of Service of Urban Roads – A Case Study. *Journal of Advanced Transportation*. 2010. № 31(3). P. 325–342.

45. Кривошапов С.И. Особенности нормирования расхода топлива в сложных дорожных условиях эксплуатации машин. *Вестник НТУ «ХПИ»*. 2015. № 10 (1119). С. 115–121.

46. Кривошапов С.И. Разработка методики и алгоритма общего диагностирования автомобилей по изменению коэффициента полезного действия : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10. Харьков, 1999. 216 с.

47. Кривошапов С.И. Особенности нормирования расхода топлива транспортных машин, работающих в сложных дорожных условиях. *Вісник Харківського національного університету сільського господарства ім. Петра Василенка*. 2014. № 155. С. 82–89.

48. Якимов М.Р. Разработка системы мониторинга выбросов автомобильного транспорта в атмосферу крупных городов: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 03.00.16. Пермь, 2004. 24 с.

49. Шаталова Е.Е. Совершенствование оценки массовых выбросов загрязняющих веществ в отработавших газах автомобильного транспорта : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10. Волгоград, 2007. 16 с.

50. Полуэктова М.М. Метод оценки загрязнения атмосферного воздуха авто-

мобильным транспортом с использованием геоинформационных систем : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.30. Санкт-Петербург, 2009. 22 с

51. Волкодаева М.В. Научно-методические основы оценки воздействия автотранспорта на атмосферный воздух : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 25.00.36. Санкт-Петербург, 2009. 36 с.

52. Ложкина О.В. Оценка удельных выбросов окислов азота легковым автотранспортом. *Двигателестроение*. 2012. № 4. С.35–41.

53. Joumard R., Rapone M., Andre M. Analysis of the cars pollutant emissions as regards driving cycles and kinematic parameters : Report INRETS-LTE 0607, ARTEMIS project. Bron: INRETS, 2006. 132 p.

54. Urban Air Pollution with Particular Reference to Motor Vehicles : Report of a WHO Expert Committee (Technical Report Series No. 410) / Dave J.M. et al. Geneva: World Health Organization, 1969. 56 p.

55. Ecological Transport Information Tool for Worldwide Transports : Methodology and Data Update 2019. Berne-Hannover-Heidelberg: EcoTransIT World Initiative (EWI), 2019. 117 p.

56. Handbook Emission Factors for Road Transport (HBEFA) / Keller M. et al., Bern: INFRAS, 2014. ver. 3.2.

57. Keller M. Pollutant Emissions from Road Transport, 1990 to 2035. Bern: Swiss Federal Office for the Environment (FOEN), 2010. 131 p.

58. EMEP/EEA Air pollutant emission inventory guidebook 2013. Technical guidance to prepare national emission inventories : European Environment Agency (EEA) Technical report № 13/2019. Luxembourg: EEA, 2019. 26 p.

59. MOVES and Other Mobile Source Emissions Models : Environmental Protection Agency (EPA) website. URL: <https://www.epa.gov/moves>.

60. Cai H., Burnham A., Wang M. Updated Emission Factors of Air Pollutants from Vehicle Operations in GREETTM Using MOVES. Lemont: Agronne National Laboratory, 2013. 104 p.

61. Minh C.C., Sano K., Matsumoto S. The speed, flow and headway analyses of motorcycle traffic. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 2005.

№ 6. P. 1496–1508.

62. Y N.C., Minh C.C., Sano K., Matsumoto S. Motorcycle Equivalent Units at Road Segments under Mixed Traffic Flow in Urban Road. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 2009. № 7. 14 p.

63. Dhamaniya A., Chandra S. Speed Characteristics of Mixed Traffic Flow on Urban Arterials. *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*. 2013. № 7(11). P. 883–888.

64. Rao A.M., Rao K.R. Free Speed Modelling for Urban Arterials – A Case Study on Delhi. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. № 43(3). 2015. P. 111–119.

65. Волченко С.В. Повышение пропускной способности ВДМ на основе оценки взаимодействия транспортных потоков с городскими магистралями : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11. Волгоград, 2014. 179 с.

66. Maurya A.K., Dey S., Das S. Speed and Time Headway Distribution under Mixed Traffic Condition. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 2015. № 11. P. 1774–1792.

67. Milton J., Mannering F. The Relationship Among Highway Geometries, Traffic-Related Elements and Motor-Vehicle Accident Frequencies. *Transportation*. 1998. № 25. P. 395–413.

68. Sawalha Z., Sayed T. Evaluating Safety of Urban Arterial Roadways. *Journal of Transportation Engineering*. 2001. № 127(2). P. 151–158.

69. Deller J. The influence of road design speed, posted speed limits and lane widths on speed selection: A literature synthesis. *Australasian Transport Research Forum 2013 : Proceedings (2-4 October 2013)*. Brisbane, 2013. 14 p.

70. Zheng J., Sun J., Yang J. Relationship of Lane Width to Capacity for Urban Expressways. *Transportation Research Record*. 2015. № 2483(2483). P. 10–19.

71. Liu S., Wang J., Fu T. Effects of Lane Width, Lane Position and Edge Shoulder Width on Driving Behavior in Underground Urban Expressways: A Driving Simulator Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2016. № 13,10 1010. 14 p. (DOI:10.3390/ijerph13101010).

72. Spot speed study workshop instruction manual : presentation prepared for the Governor's Highway Safety Bureau Executive Office of Public Safety. Boston, 2005. 15 P.

73. Hua C. Comparison of field speed data collection methods. *16th Road Safety on Four Continents Conference* (15-17 May 2013). Beijing, 2013. 11 p. URL: <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:758838/FULLTEXT01.pdf>.

74. Horbachov P., Svichynskyi S. Theoretical substantiation of trip length distribution for home-based work trips in urban transit systems. *The Journal of Transport and Land Use*. 2018. № 11(1). P. 593–632.

75. Власов А.А., Орлов Н.А., Чушкина К.А. Методика расчета режимов работы светофорных объектов в условиях насыщенного движения. *Науковедение*. 2014. № 2. 11 с. (ID статьи 02TVN214).

76. Городокин В.А., Альметова З.В., Леонова О.В. Оптимизация работы светофорного объекта по основным тактам цикла. *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2015. № 4. С. 67–76.

77. Рахмангулов А.Н., Ломакина М.Г. Выбор направления совершенствования систем светофорного регулирования транспортных потоков в городах. *Современные проблемы транспортного комплекса России*. 2017. №. 7(1). С. 27–34. (DOI: 10.18503/2222-9396-2017-7-1-27-34).

78. Paruchuri V., Chellappan S., Lenin R.B. Arrival time based Traffic Signal Optimization for Intelligent Transportation Systems. *IEEE 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA) : working papers* (March 2013). Barcelona, 2013. P. 703–709.

79. Xia X., Ma X., Wang J. Control Method for Signalized Intersection with Integrated Waiting Area. *Applied Sciences*. 2019. № 9(5), 968. 17 p. (DOI: <https://doi.org/10.3390/app9050968>).

80. Adams W.F. Road Traffic Considered as it Random Series. *Journal of the Institution of Civil Engineers*. 1936. № 4. P. 121–130. (DOI: <https://doi.org/10.1680/ijoti.1936.14802>).

81. Clayton A.J.H. Road Traffic Calculations. *Journal of the Institution of Civil*

Engineers. 1941. № 16. P. 247–264. (DOI: <https://doi.org/10.1680/ijoti.1941.13660>).

82. Gerlough D.L., Huber M.J. *Traffic Flow Theory* : monograph. Washington: TRB NRC, 1975. 233 p.

83. Allsop R.E. Delay at a fixed time traffic signal. I: Theoretical analysis. *Transportation Science*. 1972. № 6(3). P. 260–285. (DOI: <https://doi.org/10.1287/trsc.6.3.260>).

84. Wardrop J.G., Whitehead J.I. Correspondence. Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. Engineering Divisions. *ICE Proceedings*. 1952. № 1(5). P. 767–768. (DOI: [10.1680/ipeds.1952.11362](https://doi.org/10.1680/ipeds.1952.11362)).

85. Miller A.J. Some operating characteristics of fixed time signals with random arrivals. Sydney: Institute of Highway and Traffic Research, University of New South Wales, 1969. 29 p.

86. Miller A.J. Settings for Fixed-Cycle Traffic Signals. *Journal of the Operational Research Society*. 1963. № 14(4). P. 373–386. (DOI: <https://doi.org/10.1057/jors.1963.61>).

87. Akçelik R. *Traffic signals: capacity and timing analysis* : research report ARR 123. Vermont: Australian Road Research Board, 1998. 120 p (7th reprint).

88. Keegan A., Gonzales E.J. Evaluating Capacity and Delay for Signalized Arterials with Freight Deliveries. *Transportation Research Procedia*. 2016. № 15. P. 161–175.

89. Roupail N., Tarko A., Li J. *Traffic Flow at Signalized Intersections* : TRB Special Report 165 “Traffic Flow Theory”. Committee on Traffic Flow Theory and Characteristics, 1975. – 34 P.

90. Harrington D. *Inside AutoCAD 2005*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs: New Riders, 2005. 930 p.

91. Emme : official INRO web-site. URL: <http://www.inrosoftware.com/en/products/emme/>.

92. TransCAD Transportation Planning Software : official web-site of Caliper Corporation. URL: <https://www.caliper.com/tcovu.htm>

93. CUBE : official CITILABS web-site. URL: <https://www.citilabs.com/software/cube/>.

94. Akcelik R. *The Highway Capacity Manual Delay Formula for Signalized Inter-*

sections. *ITE Journal*. 1988. № 58(3). p. 23–27.

95. Webster F.V., Traffic Signal Settings : Road Research Technical Paper No. 39. London: Department of Scientific and Industrial Research, 1958. 45 p.

96. Miller A.J. Australian Road Capacity Guide Provisional Introduction and Signalized Intersections. Vermont: Australian Road Research Board, 1968. 44 p.

97. Akcelik R. Sidra intersection features : Technical Note. 2019. URL: http://www.sidrasolutions.com/Cms_Data/Contents/SIDRA/Media/ProductDocumentation/SIDRA%20INTERSECTION%20Features_Jun2019.pdf.

98. Guide to Traffic Management. Part 6 Intersections, Interchanges and Crossings. Sydney: Austroads, 2017. 232 p.

99. Smith W.L. Regenerative Stochastic Processes. Mathematical, Physical and Engineering Sciences. *Proceedings of the Royal Society A*. 1955. № 232(1188). P. 6–31.

100. Lohse D., Lätzsch L. Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung : Band 2 Verkehrsplanung. Berlin: Verlag für Bauwesen, 1997. 432 p.

101. Наглюк І.С., Макарічев О.В., Горбачов П.Ф., Горбачова О.О. Визначення пропускної спроможності смуги руху на автомобільних дорогах і міських вулицях. *Автомобільний транспорт*. 2018. №. 42. С. 89–97.

102. Forbes C., Evans M., Hastings N., Peacock B. Statistical Distributions : fourth edition. Hoboken, NJ: Wiley, 2011. 212 p.

103. Правила дорожнього руху : офіційний веб-портал Верховної ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-%D0%BF#Text>.

104. Колий О.С. Рациональное розташування зупиночних пунктів автобусних та тролейбусних маршрутів відносно регульованих перехресть : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Харків, 2017. 247 с.

105. Горбачев П.Ф., Воронков А.І., Колий О.С., Никитченко І.Н. Параметры движения маршрутного автомобильного пассажирского транспорта в центральной части г. Харькова. *Вестник ХНАДУ*. 2013. № 60. С. 34–37.

106. Краткое руководство STATISTICA / StatSoft. Tulsa, 2012. 354 с.

107. MySize : official web-site of My Size, Inc. URL: <https://www.mysizeid.com/>.

108. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в

теории надежности. М.: Наука, 1965. 524 с.

109. Чернишова О.С. Формування мережі велосипедного транспорту в містах з низьким рівнем його використання: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Харків, 2019. 207 с.

110. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets : . Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2004. 82 p.

111. Loutzenheiser D.W., Greenshields B.D., Buchanan J.A. Speed-Change Rates of Passenger Vehicles. *Highway Research Board Proceedings*. 1938. № 18. P. 90–99.

112. Oto R. Vehicle Acceleration Tests. Oakland: California Department of Transportation, 1988.

113. St. John A.D., Kobett D.R. Grade Effects on Traffic Flow Stability and Capacity : NCHRP Report 185. Washington, D.C.: TRB, National Research Council, 1978. 110 p.

114. Bonneson J.A. Modelling Queued Driver Behaviour at Signalized Junctions. *Transportation Research Record 1365*. Washington, D.C.: TRB, National Research Council, 1992. P. 99–107.

115. Yang G., Xu H., Tian Z., Wang Z., Zhao Y. Acceleration Characteristics at Metered On-Ramps. *Transportation Research Record*. 2015. № 2484(1). P. 1-9. (DOI: 10.3141/2484-01).

116. Transport Engineering Design Incorporated : official web-site. URL: <https://tedi.vn/>.

117. Preliminary Study on Traffic Control Center in Hanoi Socialist Republic of Vietnam : Study Report. Tokyo: Nippon Koei Co., Engineering and Consulting Firms Association, 2011. 106 p.

118. CadProVNM : CadPro JSC official web-site. URL: <http://www.cadpro.vn/index.php/en/cadpro-solutions>.

119. Россолов А.В. Совершенствование интервальной концепции определения спроса на услуги пассажирского маршрутного транспорта в крупных городах : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Харьков, 2012. 207 с.

120. Quy định về tốc độ và khoảng cách an toàn của xe cơ giới, xe máy chuyên

dùng tham gia giao thông đường bộ : Bộ Giao Thông Vận Tải. URL: <https://luatvietnam.vn/giao-thong/thong-tu-31-2019-tt-bgtvt-toc-do-va-khoang-cach-an-toan-cua-xe-co-gioi-khi-tham-gia-giao-thong-176529-d1.html>.

121. Characterization of Emission Factors Concerning Gasoline, LPG, and Diesel Vehicles via Transient Chassis-Dynamometer Tests / Park G. et. al. *Applied Sciences*. 2019. № 9(1573). 11 p. (DOI:10.3390/app9081573).

122. Cottrell W.D. Comparison of Vehicular Emissions in Free-Flow and Congestion Using MOBILE4 and Highway Performance Monitoring System. *Transportation Research Record*. 1992. № 1366. P. 75–82.

123. Distance-based emission factors from vehicle emission remote sensing measurements / Davison J. et. al. *Science of the Total Environment*. 2020. № 739. Paper ID 139688. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139688>).

124. Resolving Local-Scale Emissions for Modelling Air Quality near Roadways / Cook R. et. al. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2008. № 58(3). P. 451– 461 (DOI: <https://doi.org/10.3155/1047-3289.58.3.451>).

125. Thudium J., Alvarez R., Weilenmann M. Speed Dependence of NO₂/NO_x Emission Ratio? *18th International Symposium “Transport and Air Pollution”* : Proceedings (May 18 –19, 2010). Dübendorf, 2010. P. 11–16.

126. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения. / Кременец Ю.А., Печерский М.П., Афанасьев М.Б. М. : Академкнига, 2005. 279 с.

Додаток А

Ймовірнісний розподіл прискорень автомобілів на початку руху черги
від стоп-лінії-регульованого перехрестя

Метою даного матеріалу є розробка методики оцінки параметрів розподілу прискорення автомобілів на основі відомої швидкості перетину ними стоп-лінії з урахуванням позиції кожного автомобіля у черзі. Для цього спочатку необхідно зробити припущення про характер розподілу досягнутих до стоп-лінії швидкостей. З урахуванням того, що рух першого автомобіля завжди починається з нульової ШР, цей розподіл повинен мати ненульову ймовірність в 0 і нульову ймовірність в негативній області значень ШР. Для опису таких умов добре підходить показниково розподіл, на основі якого і будується шукана методика.

Зробимо припущення, що V_1, V_2, \dots, V_n є вибіркою показниково розподілених швидкостей з параметром

$$\lambda = (V_{cp})^{-1},$$

де

$$V_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i$$

і

$$V_k = -V_{cp} \ln \left(1 - \frac{k}{n+1} \right),$$

$$k = 1, 2, \dots, n,$$

для автомобіля з номером k .

Для досягнення зі стану спокою руху зі швидкістю V_k , необхідно рівноприскорено проїхати відстань S_k , $k = 1, 2, \dots, n$.

Необхідно по цій вибірці швидкостей $\{V_k\}$ і відстаней $\{S_k\}$ визначити розподіл прискорень $\{a_k\}$, $k = 1, 2, \dots, n$.

Так як рух автомобілів рівноприскорений, то за час $T_k = \frac{V_k}{a_k}$, автомобіль із середньою швидкістю $\frac{V_k}{2}$ проїхав відстань S_k , тобто

$$S_k = \frac{V_k}{2} T_k = \left(\frac{V_k}{2} \right) \left(\frac{V_k}{a_k} \right).$$

Звідси

$$a_k = \frac{V_k^2}{2S_k},$$

$$k = 1, 2, \dots, n.$$

Отже, з рівними ймовірностями $\frac{1}{n}$ величина прискорення приймає значення

$$a_k = \frac{V_k^2}{2S_k} = \frac{\left[-V_{cp} \ln \left(1 - \frac{k}{n+1} \right) \right]^2}{2S_k} = \frac{\left[V_{cp} \ln \left(1 - \frac{k}{n+1} \right) \right]^2}{2S_k},$$

$$k = 1, 2, \dots, n.$$

Нехай випадкова величина X має гамма-розподіл із параметром масштабу рівним μ та параметром форми рівним α .

Тоді математичне очікування випадкової величини X дорівнює

$$MX = \frac{\alpha}{\mu},$$

а дисперсія

$$DX = \frac{\alpha}{\mu^2}.$$

З цих двох рівнянь щодо параметрів масштабу і форми вони можуть бути знайдені у вигляді

$$\mu = \frac{MX}{DX}$$

і

$$\alpha = \mu * MX = \frac{(MX)^2}{DX}.$$

Вважаючи ймовірнісний розподіл прискорень таким, що належить класу гамма-розподілів, параметри цього розподілу можна оцінити, спираючись на вибірку прискорень

$$a_k = \frac{V_k^2}{2S_k} = \frac{\left[-V_{cp} \ln \left(1 - \frac{k}{n+1} \right) \right]^2}{2S_k} = \frac{\left[V_{cp} \ln \left(1 - \frac{k}{n+1} \right) \right]^2}{2S_k},$$

$$k = 1, 2, \dots, n.$$

Вважаючи всі ці значення прискорень у вибірці рівномірними, можна оцінити

$$MX = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_k,$$

$$MX^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_k^2,$$

$$DX = MX^2 - (MX)^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_k^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_k \right)^2,$$

де

$$a_k = \frac{V_k^2}{2S_k} = \frac{\left[V_{cp} \ln \left(1 - \frac{k}{n+1} \right) \right]^2}{2S_k},$$

$$k = 1, 2, \dots, n.$$

Остаточно, якщо швидкості мають показниковий розподіл з параметром

$$\lambda = V_{cp}^{-1},$$

то, вважаючи ймовірнісний розподіл прискорень з класу гамма-розподілів з параметрами масштабу μ і форми α , ці параметри можна оцінити за формулами

$$\mu = \frac{MX}{DX}$$

i

$$\alpha = \mu * MX = \frac{(MX)^2}{DX},$$

де

$$MX = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_k,$$

$$DX = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_k^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_k \right)^2,$$

Тут величини $a_k = \frac{\left[V_{cp} \ln \left(1 - \frac{k}{n+1} \right) \right]^2}{2S_k}, k = 1, 2, \dots, n.$

При цьому генерування швидкостей з показникового розподілу відбувається таким чином, що на основі натуральних чисел

$$c, n, N$$

i

$$c + n < N.$$

Нехай $V_k = -V_{cp} \ln\left(1 - \frac{c+k}{N}\right)$, $k = 1, 2, \dots, n$. Тоді вибірка з n швидкостей має

наступний вигляд:

$$V_1 = -V_{cp} \ln\left(1 - \frac{c+1}{N}\right),$$

$$V_2 = -V_{cp} \ln\left(1 - \frac{c+2}{N}\right),$$

...

$$V_n = -V_{cp} \ln\left(1 - \frac{c+n}{N}\right),$$

$$c+n < N.$$

Додаток Б

Характеристика світлофорних циклів, що діють на світлофорних об'єктах у районі Лонгб'єн м. Ханой

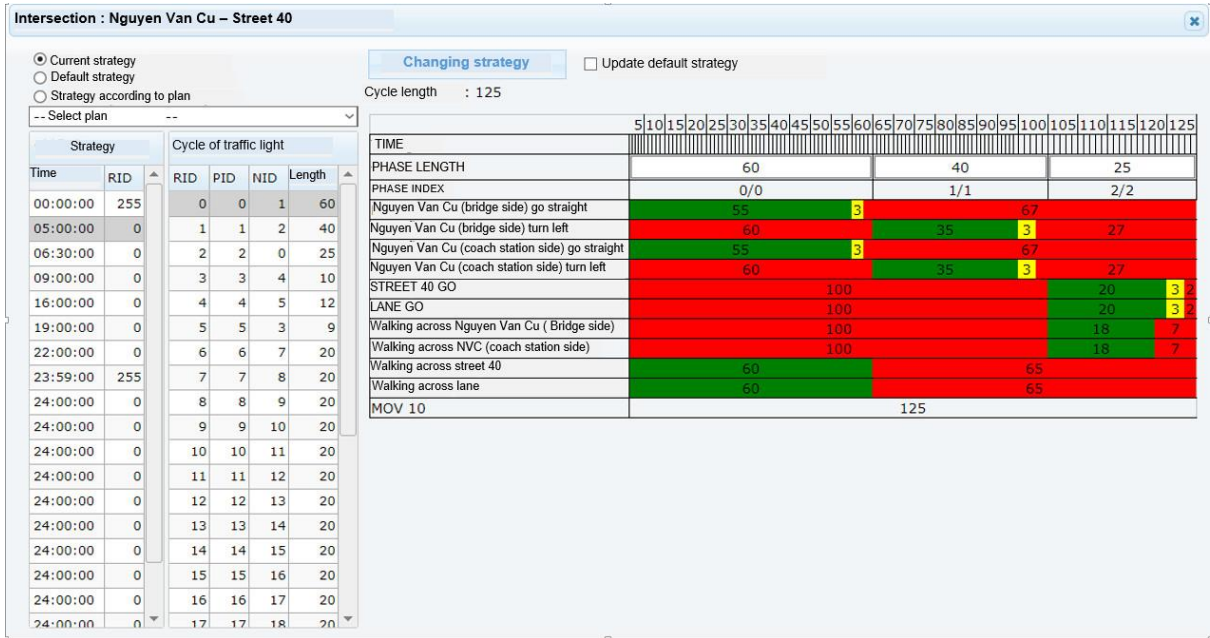


Рисунок Б.1 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Nguyen Van Cu – Hoang Nhu Tiep»

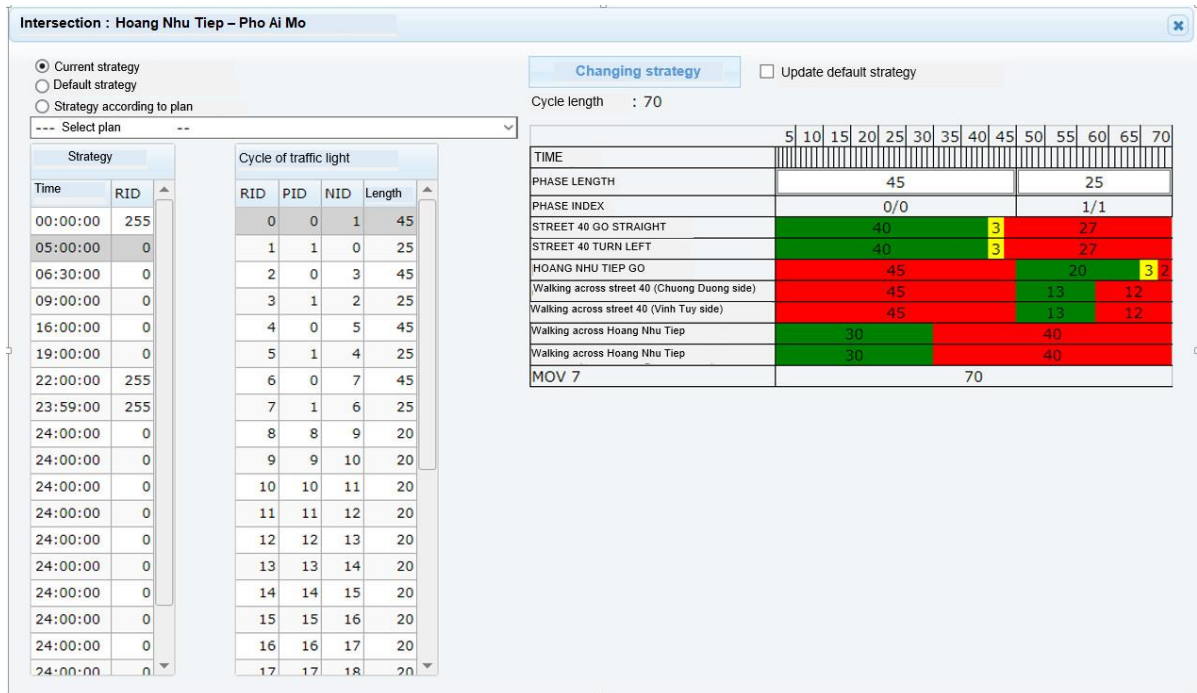


Рисунок Б.2 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Hoang Nhu Tiep – Pho Ai Mo»

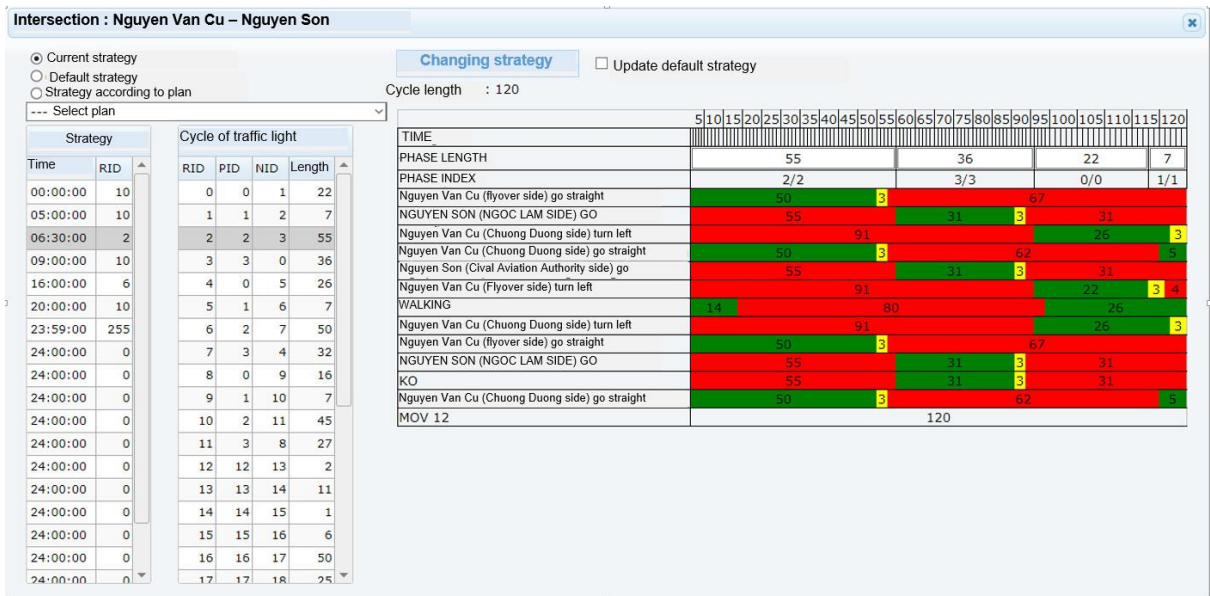


Рисунок Б.3 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Nguyen Van Cu – Nguyen Son»

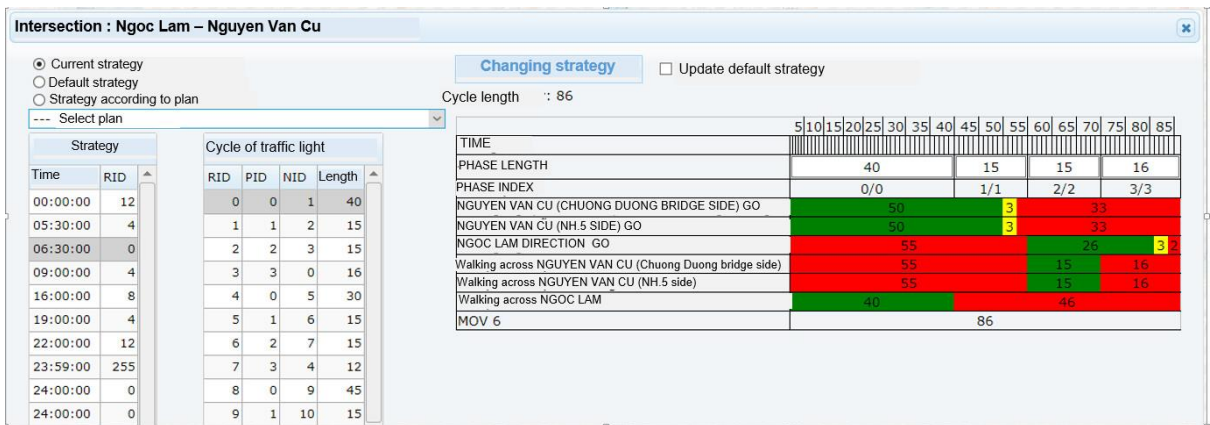


Рисунок Б.4 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Ngoc Lam – Nguyen Van Cu»

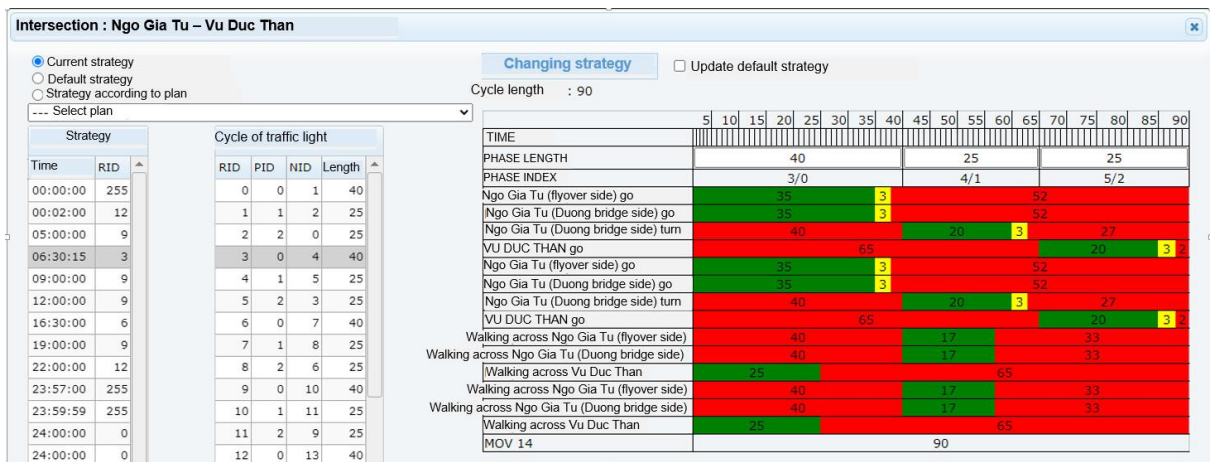


Рисунок Б.5 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Ngo Gia Tu – Vu Duc Than»

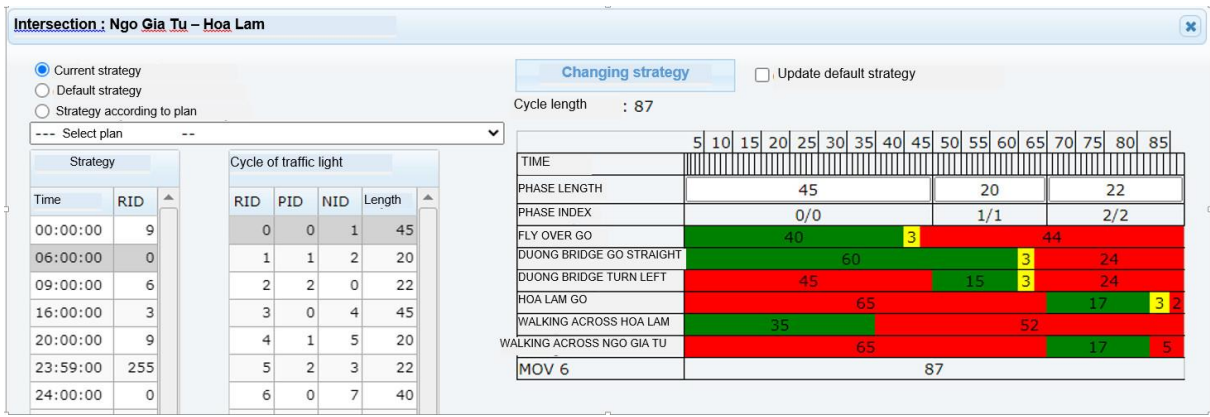


Рисунок Б.6 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Ngo Gia Tu – Hoa Lam»

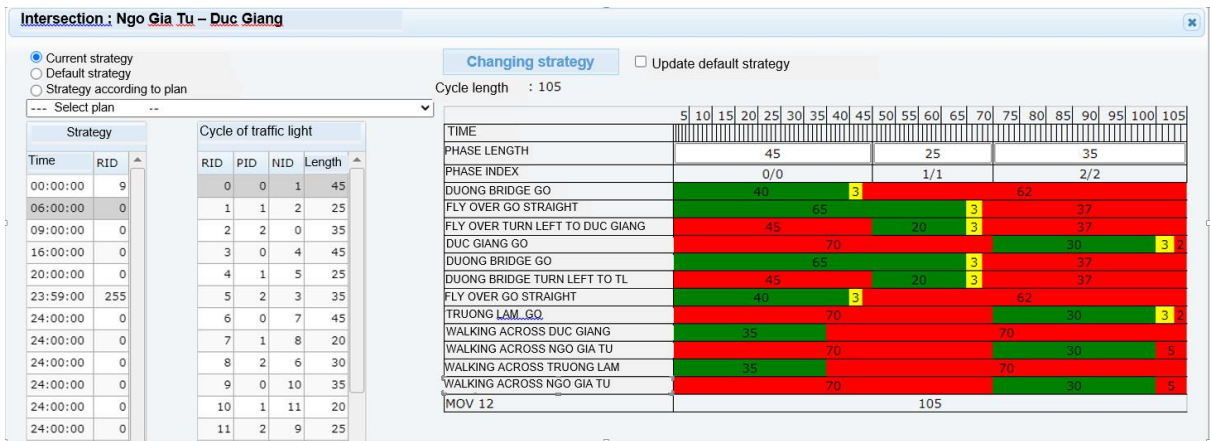


Рисунок Б.7 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Ngo Gia Tu – Duc Giang – Truong Lam»

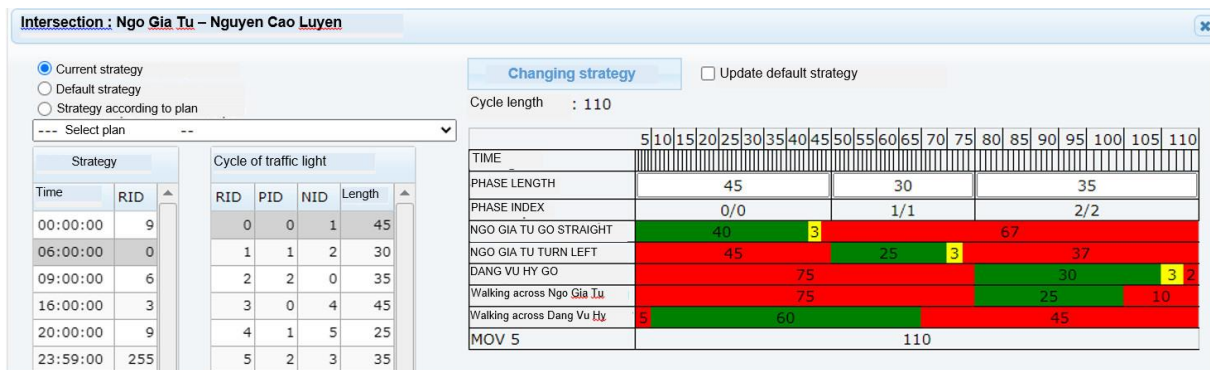


Рисунок Б.8 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Ngo Gia Tu – Nguyen Cao Luyen»

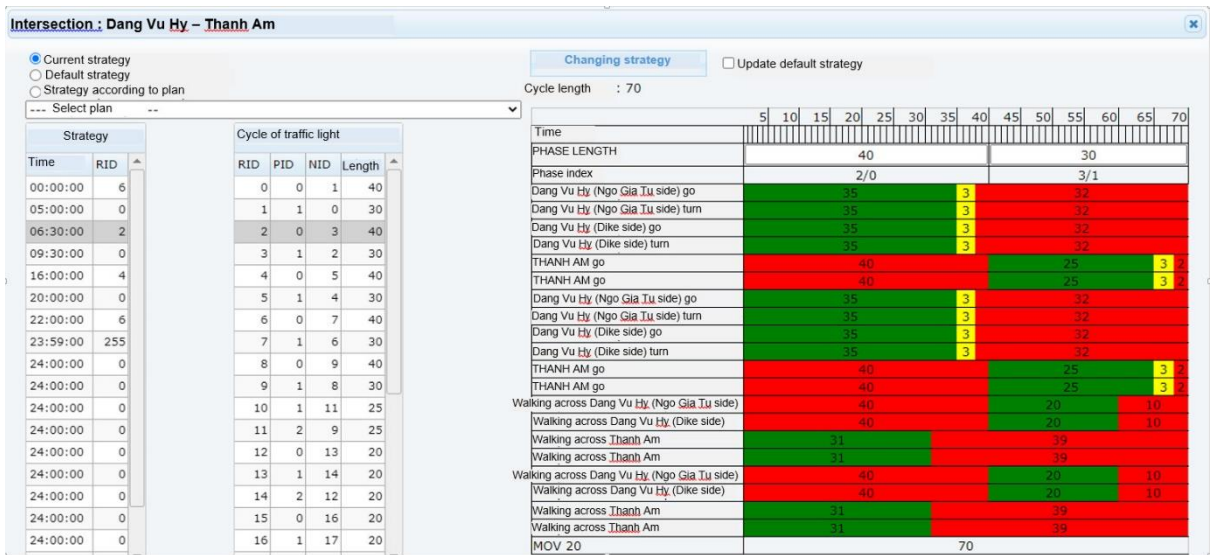


Рисунок Б.9 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Dang Vu Hy – Thanh Am»

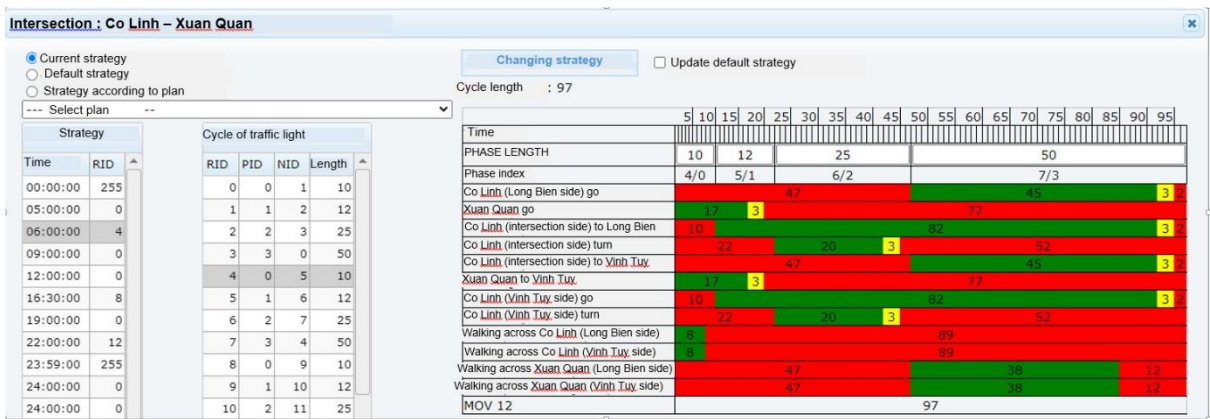


Рисунок Б.10 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Co Linh – Xuan Quan»

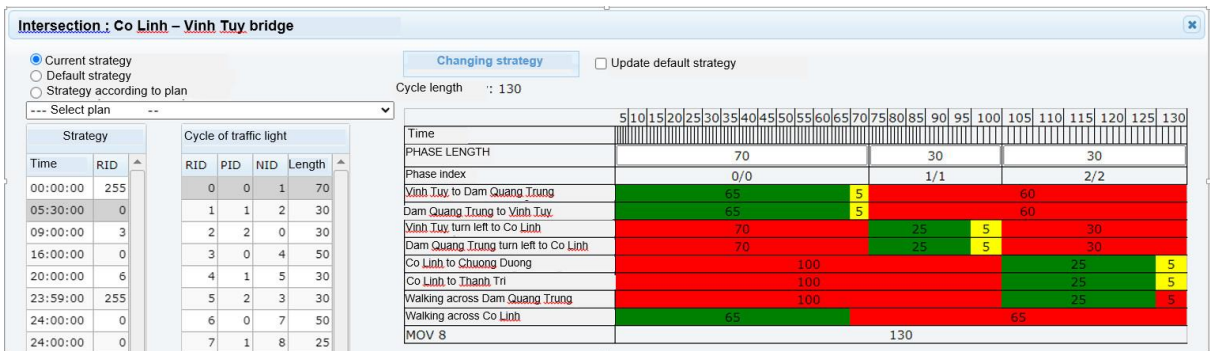


Рисунок Б.11 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Co Linh – Vinh Tuy bridge»

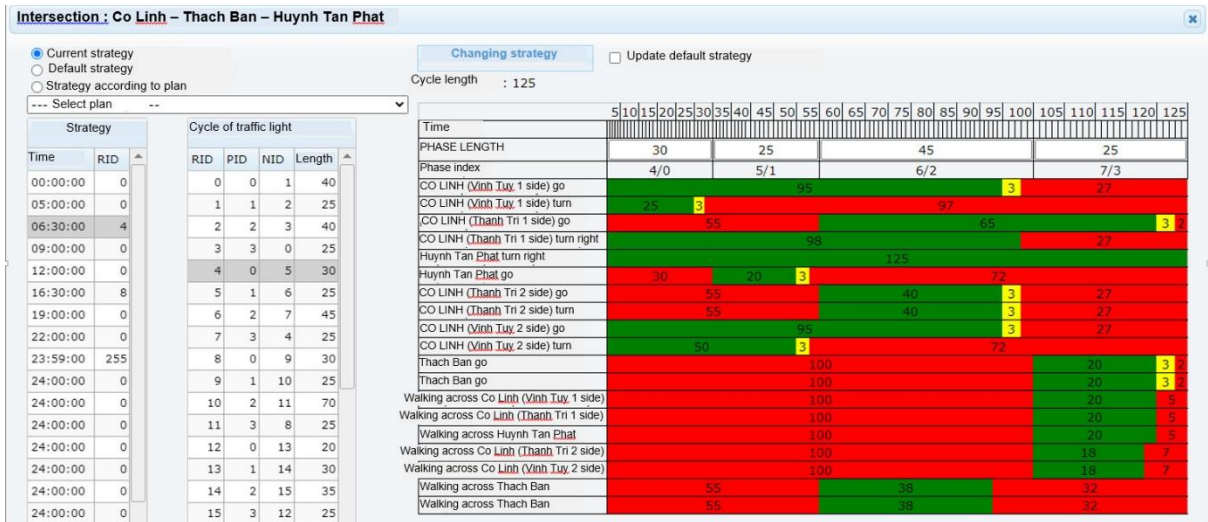


Рисунок Б.12 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Co Linh – Thach Ban – Huynh Tan Phat»

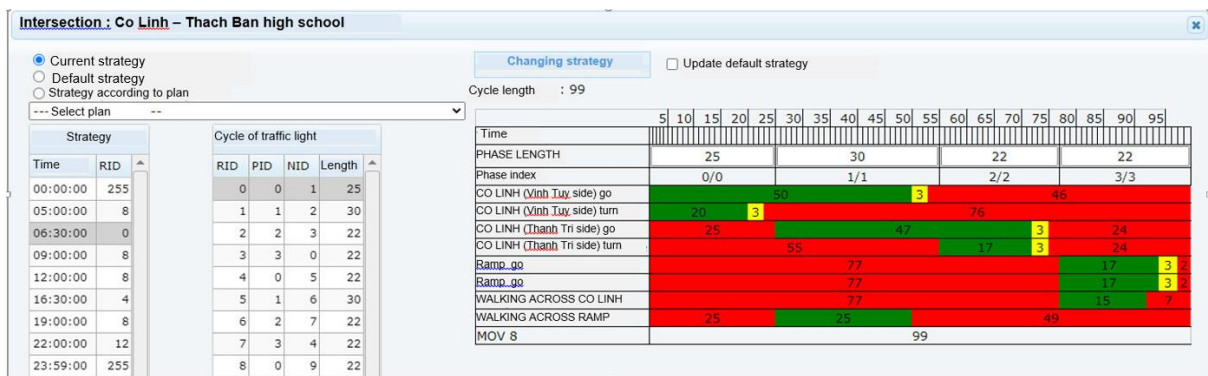


Рисунок Б.13 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Co Linh – Thach Ban high school»

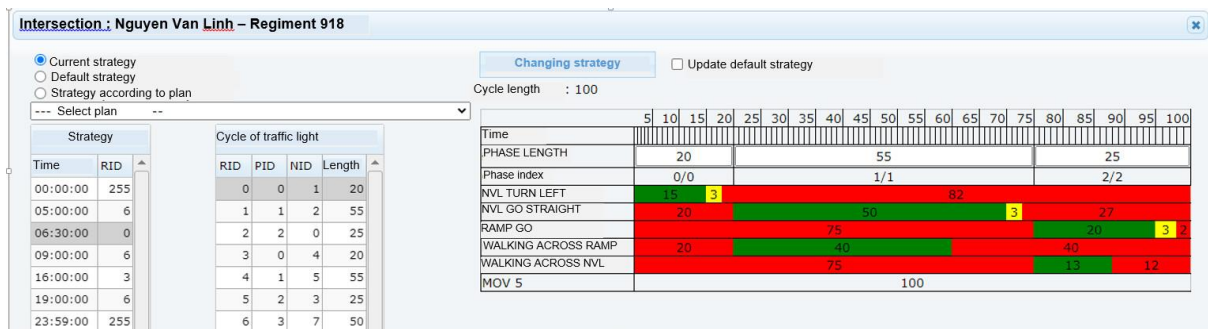


Рисунок Б.14 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Nguyen Van Linh – Regiment 918»

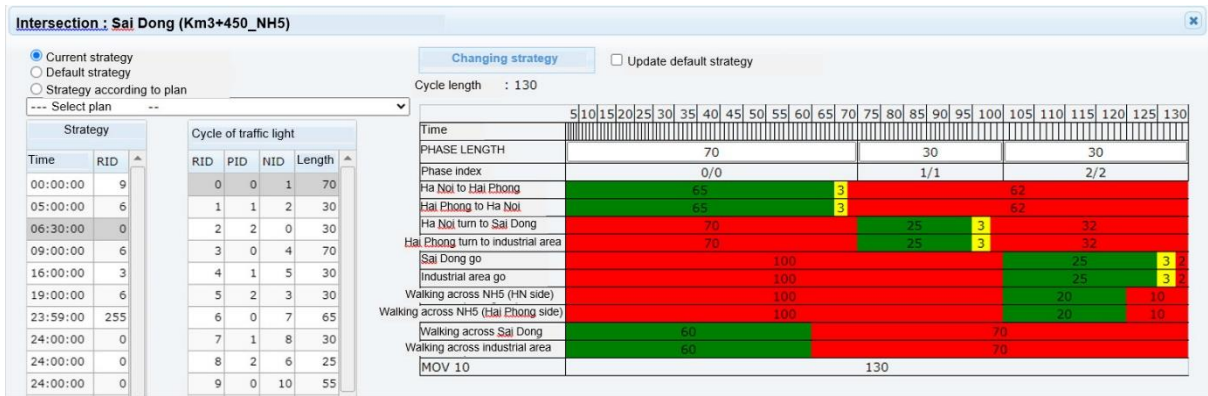


Рисунок Б.15 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Sai Dong – Nguyen Van Linh»

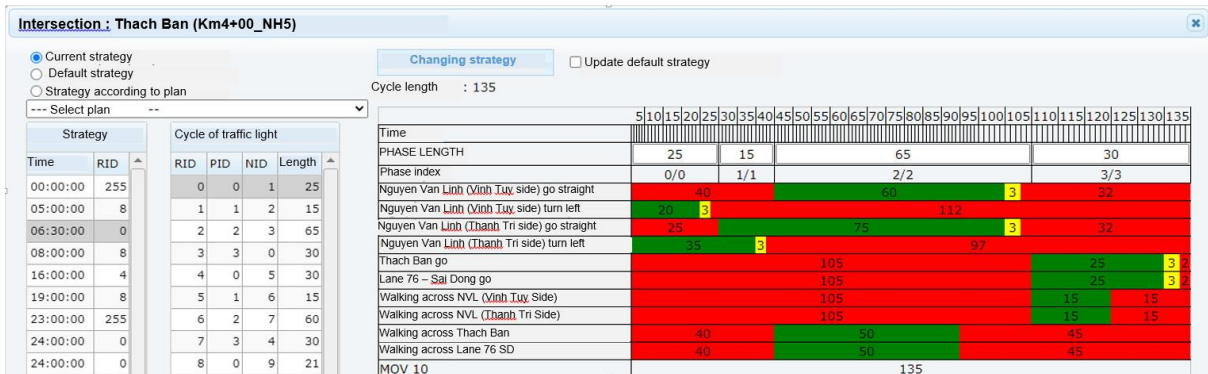


Рисунок Б.16 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Thach Ban – Nguyen Van Linh»

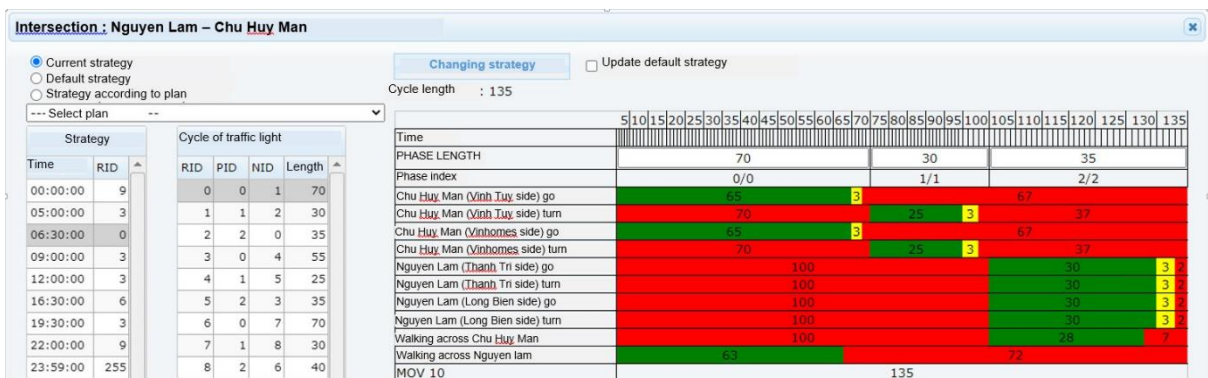


Рисунок Б.17 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Nguyen Lam – Chu Huy Man»

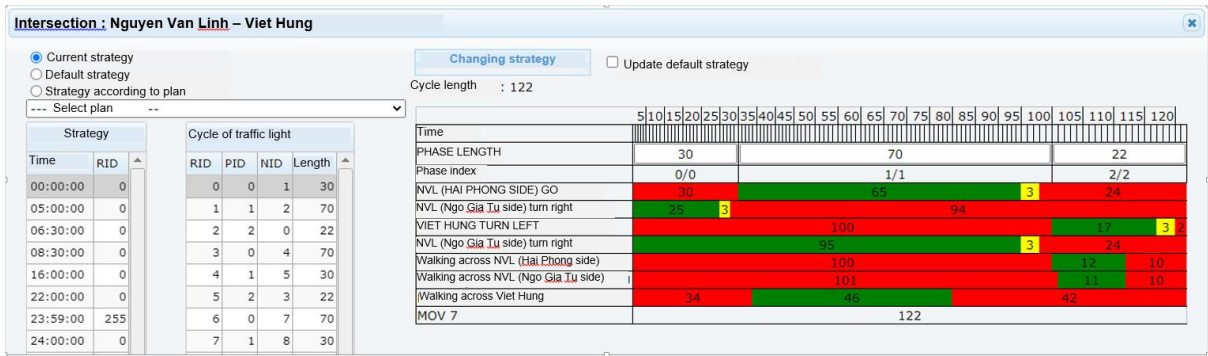


Рисунок Б.18 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Nguyen Van Linh – Viet Hung»

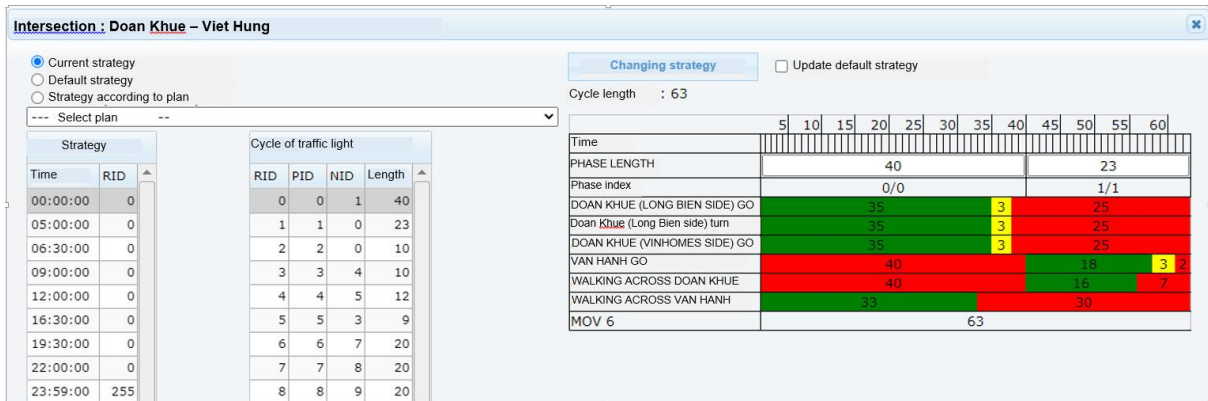


Рисунок Б.19 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Doan Khue – Viet Hung»

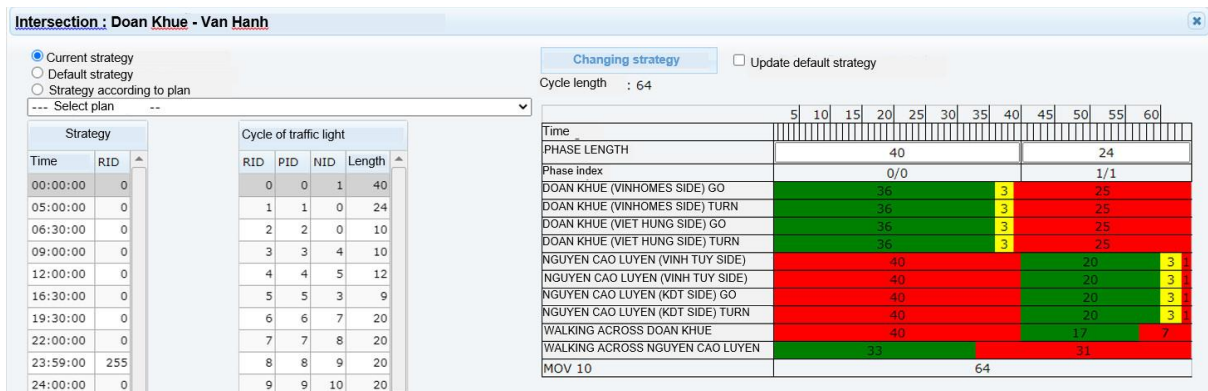


Рисунок Б.20 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Doan Khue – Nguyen Cao Luyen»

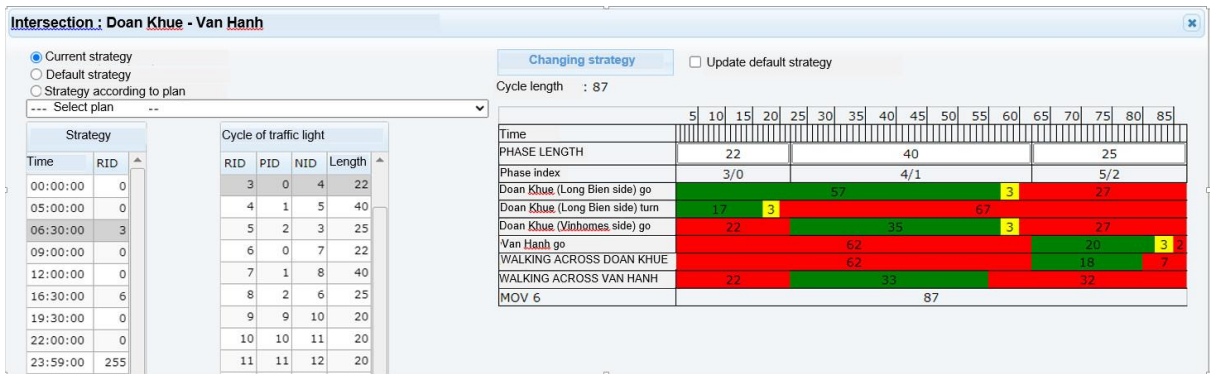


Рисунок Б.21 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Doan Khue – Van Hanh»

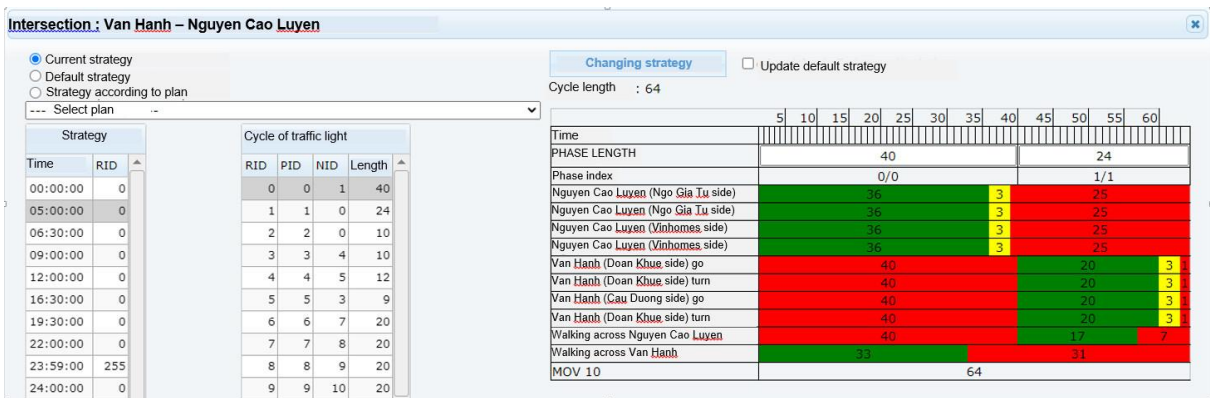


Рисунок Б.22 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Van Hanh – Nguyen Cao Luyen»

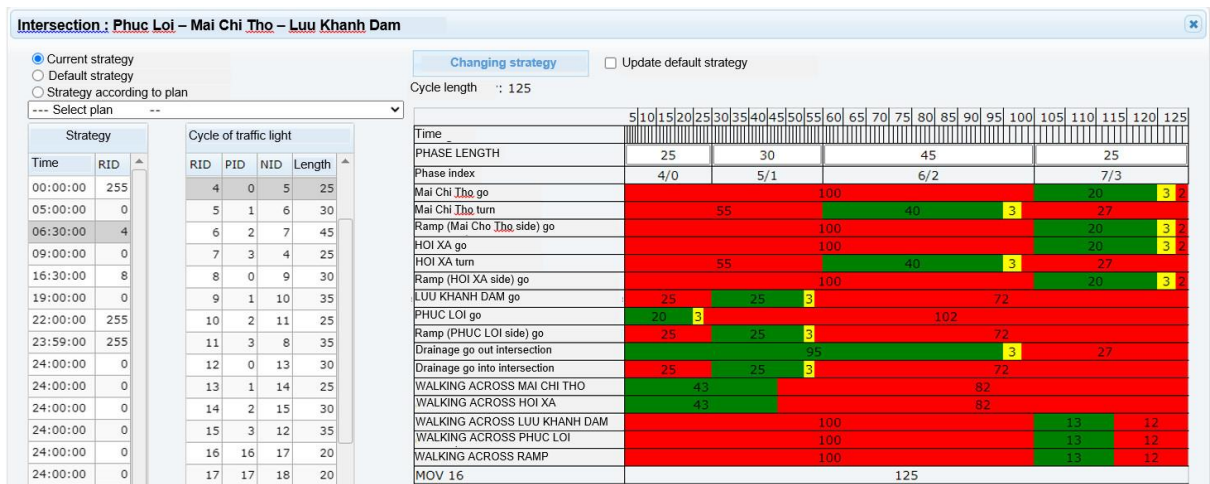


Рисунок Б.23 – Характеристика світлофорного циклу на перехресті «Phuc Loi – Mai Chi Tho – Luu Khanh Dam»

Таблиця Б.1 – Дані світлофорного регулювання на перехрестях у районі Лонгб’єн м. Ханой у ранковий період-пік

Перехрестя	Напрямок руху (назва в програмному забезпеченні CadProVNM)	Час горіння сигналів світлофора, с		
		червоний	жовтий	зелений
1	2	3	4	5
Nguyen Van Cu – Hoang Nhu Tiep	U-turn	87	3	35
	Nguyen Van Cu (coach station side) turn right	67	3	55
	Nguyen Van Cu (coach station side) go straight	67	3	55
	Nguyen Van Cu (coach station side) turn left	87	3	35
	Nguyen Van Cu (bridge side) go straight	67	3	55
	Nguyen Van Cu (bridge side) turn left	87	3	35
	U-turn = like “turn left”	87	3	35
	Nguyen Van Cu (bridge side) turn right	67	3	55
	Lane go	102	3	20
	U-turn	102	3	20
	Lane go	102	3	20
	Lane go	102	3	20
	Street 40 go	102	3	20
	Street 40 go	102	3	20
	Street 40 go	102	3	20
	U-turn	102	3	20
Hoang Nhu Tiep – Pho Ai Mo	U-turn	27	3	40
	Street 40 go Straight	27	3	40
	Street 40 go Straight	27	3	40
	Street 40 turn left	27	3	40
	Hoang Nhu Tiep go	47	3	20
	Hoang Nhu Tiep go	47	3	20
	U-turn	47	3	20
	Hoang Nhu Tiep go	47	3	20
	Street 40 go Straight	27	3	40
	U-turn	27	3	40
	Street 40 turn left	27	3	40
	Street 40 go Straight	27	3	40
	Hoang Nhu Tiep go	47	3	20
	Hoang Nhu Tiep go	47	3	20
	Hoang Nhu Tiep go	47	3	20
	Hoang Nhu Tiep go	47	3	20
Nguyen Van Cu – Nguyen Son	U-turn	91	3	26
	Nguyen Van Cu (Chung Duong side) turn left	91	3	26
	Nguyen Van Cu (Chung Duong side) go straight	62	3	55
	Nguyen Van Cu (Chung Duong side) turn right	62	3	55
	Nguyen Son (Ngoc Lam side) go	86	3	31
	Nguyen Son (Ngoc Lam side) go	86	3	31
	Nguyen Son (Ngoc Lam side) go	86	3	31
	Nguyen Son (Ngoc Lam side) go	86	3	31
	Nguyen Van Cu (flyover side) go straight	67	3	50
	Nguyen Van Cu (flyover side) turn right	67	3	50
	U-turn	95	3	22
	Nguyen Van Cu (flyover side) turn left	95	3	22
	Nguyen Son (Civil Aviation Authority side) go	86	3	31
	Nguyen Son (Civil Aviation Authority side) go	86	3	31
	Nguyen Son (Civil Aviation Authority side) go	86	3	31
	Nguyen Son (Civil Aviation Authority side) go	86	3	31

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5
Ngoc Lam – Nguyen Van Cu	Ngoc Lam Direction go	57	3	26
	Ngoc Lam Direction go	57	3	26
	Ngoc Lam Direction go	57	3	26
	Nguyen Van Cu (Chuong Duong Bridgeside) go	33	3	50
	Nguyen Van Cu (Chuong Duong Bridgeside) go	33	3	50
	Nguyen Van Cu (Chuong Duong Bridgeside) go	33	3	50
	Nguyen Van Cu (Nh.5 side) go	33	3	50
	Nguyen Van Cu (Nh.5 side) go	33	3	50
	Nguyen Van Cu (Nh.5 side) go	33	3	50
Ngo Gia Tu – Vu Duc Than	U-turn	67	3	20
	Ngo Gia Tu (Duong bridge side) go	52	3	35
	Ngo Gia Tu (Duong bridge side) turn left	67	3	20
	Ngo Gia Tu (flyover side) go	52	3	35
	Ngo Gia Tu (flyover side) go	52	3	35
	Ngo Gia Tu (flyover side) go	52	3	35
	VU DUC THAN go	67	3	20
	VU DUC THAN go	67	3	20
	VU DUC THAN go	67	3	20
Ngo Gia Tu – Hoa Lam	Duong Bridge go Straight	24	3	60
	U-turn	69	3	15
	Duong Bridge turn left	69	3	15
	Flyover go	44	3	40
	Flyover go	44	3	40
	Flyover go	44	3	40
	Hoa Lam go	67	3	17
	Hoa Lam go	67	3	17
	Hoa Lam go	67	3	17
Ngo Gia Tu – Duc Giang – Truong Lam	U-turn	82	3	20
	Fly Over turn left To Duc Giang	82	3	20
	Fly Over go Straight	37	3	65
	Duc Giang go	72	3	30
	Duc Giang go	72	3	30
	Duc Giang go	72	3	30
	Duong Bridge go	62	3	40
	Duong Bridge go	62	3	40
	Duong Bridge go	62	3	40
	Duong Bridge go	37	3	65
	U-turn	82	3	20
	Duong Bridge turn left To Tl	82	3	20
	U-turn	62	3	40
	Fly Over go Straight	62	3	40
	Fly Over go Straight	62	3	40
	Truong Lam go	72	3	30
	Truong Lam go	72	3	30
Truong Lam go	72	3	30	
Ngo Gia Tu – Nguyen Cao Luyen	Ngo Gia To go Straight	67	3	40
	Ngo Gia To turn left	82	3	25
	Ngo Gia To turn left	82	3	25
	Ngo Gia To go Straight	67	3	40
	Dang Vu Hy go	77	3	30
	Dang Vu Hy go	77	3	30
	Dang Vu Hy go	77	3	30
	Dang Vu Hy go	77	3	30
	Ngo Gia To turn left	82	3	25
	Ngo Gia To go Straight	67	3	40

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5
Ngo Gia Tu – Nguyen Cao Luyen	Ngo Gia To go Straight	67	3	40
	Ngo Gia To turn left	82	3	25
	Dang Vu Hy go	77	3	30
	Dang Vu Hy go	77	3	30
	Dang Vu Hy go	77	3	30
	Dang Vu Hy go	77	3	30
Dang Vu Hy – Thanh Am	U-turn	32	3	35
	Dang Vu Hy (Ngo Gia Tu side) go	32	3	35
	Dang Vu Hy (Ngo Gia Tu side) turn	32	3	35
	Dang Vu Hy (Ngo Gia Tu side) go	32	3	35
	Dang Vu Hy (Dike side) go	32	3	35
	U-turn	32	3	35
	Dang Vu Hy (Dike side) go	32	3	35
	Dang Vu Hy (Dike side) turn	32	3	35
	Thanh Am go	42	3	25
	Thanh Am go	42	3	25
	Thanh Am go	42	3	25
	Thanh Am go	42	3	25
	Thanh Am go	42	3	25
	Thanh Am go	42	3	25
	Thanh Am go	42	3	25
	Thanh Am go	42	3	25
	Co Linh – Xuang Quang	Co Linh (intersection side) turn	74	3
Co Linh (intersection side) go to Long Bien		12	3	82
Co Linh (intersection side) turn		74	3	20
Co Linh (Long Bien side) go		49	3	45
Co Linh (Long Bien side) go		49	3	45
Co Linh (Long Bien side) go		49	3	45
Xuang Quang go		77	3	17
Xuang Quang go		77	3	17
Xuang Quang go		77	3	17
Co Linh (Vin Tuy side) go		12	3	82
Co Linh (Vin Tuy side) turn		74	3	20
Co Linh (Vin Tuy side) turn		74	3	20
Co Linh (intersection side) to Vin Tuy		49	3	45
Co Linh (intersection side) to Vin Tuy		49	3	45
Co Linh (intersection side) to Vin Tuy		49	3	45
Xuang Quang go		77	3	17
Xuang Quang to Vin Tuy		77	3	17
Xuang Quang go	77	3	17	
Co Linh – Vinh Tuy bridge	U-turn	100	5	25
	Dam Quang Trung to Vinh Tyu	60	5	65
	Dam Quang Trung turn left to Co Linh	100	5	25
	Dam Quang Trung to Vinh Tyu	60	5	65
	Vinh Tyu to Dam Quang Trung	60	5	65
	U-turn	100	5	25
	Vinh Tyu to Dam Quang Trung	60	5	65
	Vinh Tyu turn left to Co Linh	100	5	25
	Co Linh to Chuong Doung	100	5	25
	Co Linh to Chuong Doung	100	5	25
	U-turn	100	5	25
	Co Linh to Chuong Doung	100	5	25
	Co Linh to Thanh Tri	100	5	25
	Co Linh to Thanh Tri	100	5	25
	Co Linh to Thanh Tri	100	5	25
U-turn	100	5	25	

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5
Sai Dong – Nguyen Van Linh	U-turn	102	3	25
	Hai Phong turn to industrial area	102	3	25
	Hai Phong to Ha Noi	62	3	65
	Hai Phong to Ha Noi	62	3	65
	Ha Noi to Hai Phong	62	3	65
	Ha Noi to Hai Phong	62	3	65
	U-turn	102	3	25
	Ha Noi turn to Sai Dong	102	3	25
	Industrial area go	102	3	25
	U-turn	102	3	25
	Industrial area go	102	3	25
	Industrial area go	102	3	25
	Sai Dong go	102	3	25
	Sai Dong go	102	3	25
	Sai Dong go	102	3	25
Thach Ban – Nguyen Van Linh	U-turn	102	3	25
	Nguyen Van Linh (Vinh Tuy side) go straight	72	3	60
	U-turn	112	3	20
	Nguyen Van Linh (Vinh Tuy side) go straight	72	3	60
	Nguyen Van Linh (Vinh Tuy side) turn left	112	3	20
	U-turn	107	3	25
	Thach Ban go	107	3	25
	Thach Ban go	107	3	25
	Thach Ban go	107	3	25
	Nguyen Van Linh (Thanh Tri side) turn left	97	3	35
	Nguyen Van Linh (Thanh Tri side) go straight	57	3	75
	U-turn	97	3	35
	Nguyen Van Linh (Thanh Tri side) go straight	57	3	75
	Lane 76 – Sai Dong go	107	3	25
	Lane 76 – Sai Dong go	107	3	25
Lane 76 – Sai Dong go	107	3	25	
Nguyen Lam – Chu Huy Man	U-turn	107	3	25
	U-turn	107	3	25
	Chu Huy Man (Vinhomes side) go	67	3	65
	Chu Huy Man (Vinhomes side) go	67	3	65
	Chu Huy Man (Vinhomes side) turn	107	3	25
	Chu Huy Man (Vinh Tuy side) go	67	3	65
	U-turn	107	3	25
	Chu Huy Man (Vinh Tuy side) turn	107	3	25
	Chu Huy Man (Vinh Tuy side) go	67	3	65
	Nguyen Lam (Thanh Tri side) go	102	3	30
	Nguyen Lam (Thanh Tri side) turn	102	3	30
	Nguyen Lam (Thanh Tri side) go	102	3	30
	U-turn	102	3	30
	Nguyen Lam (Long Bien side) turn	102	3	30
	Nguyen Lam (Long Bien side) go	102	3	30
Nguyen Van Linh – Viet Hung	U-turn	102	3	30
	Nguyen Lam (Long Bien side) go	102	3	30
	U-turn	102	3	30
	U-turn	94	3	25
	NVL (Ngo Gia Tu side) go straight	24	3	95
	NVL (Ngo Gia Tu side) turn left	94	3	25
	NVL (Hai Phong side) go	54	3	65
	U-turn	54	3	65
NVL (Hai Phong side) go	54	3	65	
VIET HUNG TURN LEFT	102	3	17	
U-turn	102	3	17	

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5
Doan Khue – Viet Hung	U-turn	25	3	35
	Doan Khue (Long Bien side) go	25	3	35
	Doan Khue (Long Bien side) turn	25	3	35
	Doan Khue (Long Bien side) go	25	3	35
	Van Hanh go	42	3	18
	U-turn	42	3	18
	Van Hanh go	42	3	18
	Van Hanh go	42	3	18
	Doan Khue (Vinhomes side) go	25	3	35
	Doan Khue (Vinhomes side) go	25	3	35
	Doan Khue (Vinhomes side) go	25	3	35
	U-turn	25	3	35
	Van Hanh go	42	3	18
	Van Hanh go	42	3	18
	U-turn	42	3	18
	Van Hanh go	42	3	18
Doan Khue – Nguyen Cao Luyen	Doan Khue (Viet Hung side) go	25	3	36
	U-turn	25	3	36
	Doan Khue (Viet Hung side) go	25	3	36
	Doan Khue (Viet Hung side) turn	25	3	36
	U-turn	25	3	36
	Doan Khue (Vinhomes side) go	25	3	36
	Doan Khue (Vinhomes side) turn	25	3	36
	Doan Khue (Vinhomes side) go	25	3	36
	Nguyen Cao Luyen (Vinh Tuy side)	41	3	20
	Nguyen Cao Luyen (Vinh Tuy side)	41	3	20
	U-turn	41	3	20
	Nguyen Cao Luyen (Vinh Tuy side)	41	3	20
	Nguyen Cao Luyen (Kdt side) turn	41	3	20
	Nguyen Cao Luyen (Kdt side) go	41	3	20
	Nguyen Cao Luyen (Kdt side) go	41	3	20
	U-turn	41	3	20
Doan Khue – Van Hanh	U-turn	49	3	35
	Doan Khue (Vinhomes side) go	49	3	35
	Doan Khue (Vinhomes side) go	49	3	35
	Doan Khue (Long Bien side) go	27	3	57
	U-turn	67	3	17
	Doan Khue (Long Bien side) go	67	3	17
	Van Hanh go	64	3	20
	Van Hanh go	64	3	20
	U-turn	64	3	20
Van Hanh – Nguyen Cao Luyen	U-turn	41	3	20
	Van Hanh (Cau Duong side) go	41	3	20
	Van Hanh (Cau Duong side) go	41	3	20
	Van Hanh (Cau Duong side) go	41	3	20
	Nguyen Cao Luyen (Vinhomes side)	25	3	36
	U-turn	25	3	36
	Nguyen Cao Luyen (Vinhomes side)	25	3	36
	Nguyen Cao Luyen (Vinhomes side)	25	3	36
	Van Hanh (Doan Khue side) go	41	3	20
	Van Hanh (Doan Khue side) go	41	3	20
	U-turn	41	3	20
	Van Hanh (Doan Khue side) turn	41	3	20
	Nguyen Cao Luyen (Ngo Gia Tu side)	25	3	36
	Nguyen Cao Luyen (Ngo Gia Tu side)	25	3	36
	Nguyen Cao Luyen (Ngo Gia Tu side)	25	3	36
	U-turn	25	3	36

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5
Phuc Loi – Mai Chi Tho – Luu Khanh Dam	U-turn	97	3	25
	Drainage go out intersection	27	3	95
	Luu Khanh Dam go	97	3	25
	Luu Khanh Dam go	97	3	25
	Hoi Xa turn	82	3	40
	U-turn	82	3	40
	Hoi Xa go	102	3	20
	Hoi Xa go	102	3	20
	Mai Chi Tho go	102	3	20
	Mai Chi Tho go	102	3	20
	U-turn	82	3	40
	Mai Chi Tho turn	82	3	40
	Ramp (PHUC LOI side) go	97	3	25
	Ramp (PHUC LOI side) go	97	3	25
	Ramp (PHUC LOI side) go	97	3	25
	U-turn	97	3	25
	Ramp (PHUC LOI side) go	97	3	25
	Drainage go into intersection	97	3	25
	Ramp (PHUC LOI side) go	97	3	25
	Ramp (PHUC LOI side) go	97	3	25
	Ramp (PHUC LOI side) go	97	3	25
	Ramp (PHUC LOI side) go	97	3	25
	Ramp (Mai Chi Tho side) go	102	3	20
	Drainage go into intersection	97	3	25
	Ramp (Mai Chi Tho side) go	102	3	20
	Ramp (Mai Chi Tho side) go	102	3	20
	Ramp (Mai Chi Tho side) go	102	3	20
	Luu Khanh Dam go	97	3	25
	Drainage go into intersection	97	3	25
	Luu Khanh Dam go	97	3	25
	Luu Khanh Dam go	97	3	25
	Luu Khanh Dam go	97	3	25
	Ramp (HOI XA side) go	102	3	20
	Drainage go into intersection	97	3	25
	Ramp (HOI XA side) go	102	3	20
	Ramp (HOI XA side) go	102	3	20
	Ramp (HOI XA side) go	102	3	20
	Ramp (PHUC LOI side) go	97	3	25
	Drainage go into intersection	97	3	25
	Ramp (PHUC LOI side) go	97	3	25
	Ramp (PHUC LOI side) go	97	3	25
	Ramp (PHUC LOI side) go	97	3	25
	Hoi Xa turn	82	3	40
	Hoi Xa turn	82	3	40
	Hoi Xa turn	82	3	40
	Hoi Xa go	102	3	20
	Hoi Xa turn	82	3	40
	Hoi Xa go	102	3	20
	Mai Chi THo go	102	3	20
	Hoi Xa go	102	3	20
Ramp (PHUC LOI side) go	97	3	25	
Ramp (PHUC LOI side) go	97	3	25	
Ramp (PHUC LOI side) go	97	3	25	
Ramp (PHUC LOI side) go	97	3	25	
Drainage go out intersection	27	3	95	
Drainage go out intersection	27	3	95	
Drainage go out intersection	27	3	95	
Drainage go out intersection	27	3	95	

Закінчення таблиці Б.1

1	2	3	4	5
Viet Hung – Vu Duc Thuan*	U-turn	26	3	29
	Viet Hung go straight	26	3	29
	Viet Hung turn left	26	3	29
	Viet Hung go straight	26	3	29
	Vu Duc Thuan turn left	36	3	19
	U-turn	36	3	19
	Vu Duc Thuan go straight	36	3	19
	Vu Duc Thuan go straight	36	3	19
	Vu Duc Thuan go straight	36	3	19
	Vu Duc Thuan go straight	36	3	19
	U-turn	36	3	19
	Vu Duc Thuan turn left	36	3	19
	Viet Hung go straight	26	3	29
	Viet Hung turn left	26	3	29
	Viet Hung go straight	26	3	29
	Pho Viet hong – Ngo*	U-turn	26	3
Pho Viet hong go		27	3	30
U-turn		27	3	30
Pho Viet hong turn left		27	3	30
Pho Viet hong go		27	3	30
U-turn		27	3	30
Pho Viet hong go		27	3	30
Pho Viet hong go		27	3	30
Pho Viet hong turn left		27	3	30
Ngo turn left		37	3	20
Ngo go		37	3	20
U-turn		37	3	20
Ngo go		37	3	20
Ngo go		37	3	20
Ngo turn left		37	3	20
Ngo go		37	3	20
U-turn	37	3	20	

Примітка. * – інформація по світлофорних циклах на перехрестях «Viet Hung – Vu Duc Thuan» і «Pho Viet hong – Ngo» була актуалізована по відношенню до моменту підготовки скріншотів з програми CadProVNM, внаслідок чого скріншоти для цих перехресть не наведені в додатку Б.

Додаток В

Матриця кореспонденцій для району Лонгб'єн м. Ханой

Таблиця В.1 – Матриця пересувань ТЗ в районі Лонгб'єн протягом ранкового періоду-пік (7:00 - 9:00), ПЛА/2 год

ТР	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	1	50	8	22	2	11	1	1	0	316	8	6	7	0	0	2	7	7	6	12	5	4	125	44	14	6	4	86	10	5
2	71	761	760	1912	188	1000	431	549	521	427	530	526	688	97	90	494	667	648	538	1154	490	392	833	2	31	832	352	715	885	501
3	10	469	85	204	198	399	172	409	179	218	73	74	96	51	36	170	623	259	57	159	68	200	425	1	16	83	179	365	123	50
4	16	1051	160	295	31	859	370	880	447	110	122	121	155	83	77	592	573	557	124	260	112	90	191	58	273	136	81	164	187	76
5	7	144	76	60	4	118	51	121	61	2	37	17	68	11	11	58	79	76	17	36	15	12	26	0	6	19	11	22	28	11
6	16	1047	488	1338	94	951	1128	2680	1363	51	126	120	477	253	235	1869	1746	1697	376	793	342	191	191	194	127	416	147	164	569	232
7	1	403	188	514	36	1006	434	1031	524	128	3	46	151	97	90	693	671	641	145	305	131	34	92	68	320	160	31	63	219	89
8	3	732	226	620	44	1213	523	385	953	233	6	84	271	177	109	1260	1220	1255	175	368	158	63	1095	123	582	193	77	350	264	107
9	0	531	195	679	48	1328	573	729	271	26	1	61	81	128	119	915	886	861	191	294	127	45	121	98	64	154	56	83	228	93
10	4	28	34	10	1	20	157	158	10	471	8	3	32	35	2	250	21	13	3	35	16	12	690	4605	1739	18	11	86	27	11
11	20	397	99	64	15	33	7	7	0	1735	43	19	90	2	0	11	22	22	18	43	64	13	684	239	76	78	12	124	116	66
12	7	426	70	178	17	93	40	51	48	40	52	49	63	9	8	46	62	60	50	105	45	36	78	0	3	77	33	67	82	46
13	9	406	91	176	17	360	149	219	49	130	63	64	83	10	31	46	91	294	65	137	59	47	78	0	99	72	43	67	106	43
14	0	105	53	135	9	264	114	145	137	34	1	12	37	25	24	182	176	168	37	80	34	9	158	18	84	38	11	50	62	25
15	0	99	46	127	9	249	107	255	129	32	1	11	45	24	22	171	166	158	36	75	32	9	149	17	79	39	8	23	54	22
16	2	564	191	568	32	1111	684	690	755	203	5	65	77	153	142	1093	868	712	130	288	124	44	950	107	505	151	55	303	223	91
17	10	635	334	812	57	1588	684	872	827	64	77	73	104	153	142	785	1060	1030	228	481	207	139	124	0	77	252	141	106	373	152
18	10	672	338	859	60	1680	724	1720	875	33	78	77	306	189	151	612	1121	1089	242	509	219	176	122	124	81	247	158	105	394	161
19	6	406	62	170	12	332	143	340	173	6	49	47	61	37	30	164	222	215	48	101	43	35	74	7	16	49	31	63	72	32
20	16	1011	166	422	30	826	356	846	282	94	122	116	151	80	74	267	551	536	119	250	108	86	184	0	26	131	78	158	194	79
21	9	408	65	125	12	321	119	282	110	44	64	64	59	31	25	104	214	208	46	97	42	41	86	0	3	51	30	74	75	31
22	5	318	73	133	9	69	30	38	36	30	38	37	47	7	6	34	162	168	37	79	35	27	58	0	2	41	24	50	61	25
23	0	369	84	154	11	81	28	512	34	311	0	42	55	114	6	811	54	52	43	91	41	32	606	4161	375	48	28	225	71	29
24	104	525	120	219	15	177	1394	49	652	10435	224	60	78	11	112	77	77	74	62	130	58	45	840	1248	537	68	40	320	101	41
25	12	229	52	21	1	42	80	330	22	1062	26	26	34	73	4	522	28	27	6	48	25	20	410	561	241	22	18	145	44	3
26	8	384	86	219	15	429	185	440	146	49	60	60	78	37	38	139	286	212	47	130	56	45	96	0	14	68	40	82	101	41
27	5	297	68	124	9	65	28	36	34	28	36	34	44	6	6	32	161	157	35	73	32	25	54	0	2	38	23	46	57	23
28	8	508	116	212	15	111	48	61	58	110	1	58	76	11	10	286	74	72	60	126	56	43	214	0	132	66	39	79	97	40
29	11	505	113	219	20	429	185	440	192	234	79	79	103	54	38	182	376	365	62	171	74	215	457	1	17	89	53	392	132	54
30	5	230	52	100	9	196	84	201	88	29	37	36	47	25	18	83	172	167	37	78	34	27	57	0	8	41	24	49	60	25

Додаток Г

Матриці характеристик пересувань в районі Лонгб'єн м. Ханой

Таблиця Г.1 – Матриця середніх швидкостей пересувань між ТР в моделі району Лонгб'єн, км/год

ТР	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,0	40,5	40,4	39,1	40,1	38,2	40,1	38,6	40,1	40,9	40,1	41,2	37,4	40,5	38,7	38,3	39,9	39,8	40,3	36,3	34,8	39,0	38,0	37,9	35,1	40,6	39,2	39,0	40,3	38,8
2	40,5	0,0	40,1	41,7	38,4	37,3	36,2	36,4	38,4	39,6	34,4	41,5	30,9	38,8	34,5	33,6	39,1	39,2	40,1	36,8	30,7	37,1	34,8	33,7	33,2	38,1	37,8	40,3	39,9	37,8
3	40,5	40,1	0,0	42,7	40,2	42,5	42,9	42,8	37,1	35,4	37,1	40,9	40,8	36,8	44,0	32,9	33,1	40,5	40,4	34,3	36,8	32,5	30,7	30,6	30,6	41,2	31,8	32,4	42,4	40,9
4	41,5	41,7	42,7	0,0	47,7	52,6	50,1	47,7	41,3	43,2	37,1	42,2	35,2	53,2	57,1	41,2	39,8	49,0	48,9	43,2	39,8	40,6	39,7	42,3	42,7	45,8	41,6	42,4	43,6	44,9
5	40,2	39,9	40,2	47,7	0,0	45,7	45,5	44,6	39,2	40,2	37,1	40,2	37,0	48,5	49,3	34,8	36,5	41,3	43,5	39,7	36,6	38,1	37,7	36,8	38,9	41,5	39,2	40,1	40,6	40,7
6	37,7	36,8	41,3	51,2	43,5	0,0	44,1	43,5	37,3	37,4	32,7	36,6	34,5	47,8	48,4	31,4	33,6	40,2	44,2	37,3	36,0	36,3	34,4	35,9	35,1	43,1	37,2	36,2	41,9	42,4
7	38,9	36,7	42,9	50,0	45,5	42,3	0,0	39,0	35,1	38,7	37,5	36,5	37,1	36,3	41,6	33,4	31,6	37,4	46,0	40,7	40,1	34,8	34,6	37,1	36,7	44,8	34,6	36,2	43,5	44,3
8	37,7	36,0	42,8	47,8	44,7	42,3	38,2	0,0	35,2	37,2	36,4	35,8	37,0	34,3	42,2	32,8	32,0	41,6	45,0	41,1	40,5	34,4	34,7	35,9	35,4	44,3	34,2	35,5	43,3	43,9
9	38,6	37,9	37,2	41,2	39,2	37,2	40,0	38,0	0,0	38,2	37,0	37,9	34,8	40,7	37,7	27,6	32,7	39,3	39,4	36,1	35,3	36,0	34,6	36,4	35,7	36,6	35,9	37,7	38,4	38,7
10	41,0	35,9	40,4	44,3	39,3	37,1	40,2	38,4	40,3	0,0	37,3	35,5	36,9	40,8	38,3	37,5	38,6	38,4	39,5	35,6	33,1	37,1	36,3	36,6	31,4	37,3	36,4	38,6	36,6	38,4
11	39,6	29,6	35,9	36,2	35,1	32,2	37,6	36,4	37,4	35,0	0,0	23,0	31,7	37,0	35,6	33,7	29,3	31,8	33,5	29,4	29,9	26,2	31,2	28,6	28,4	37,3	28,1	27,0	35,9	35,1
12	40,9	41,5	40,9	42,2	38,6	37,2	36,1	36,3	38,5	40,1	30,7	0,0	27,9	39,0	34,0	32,9	39,7	39,6	40,5	37,0	28,6	36,8	33,8	32,6	32,2	38,3	37,9	42,5	40,9	37,9
13	39,6	30,2	42,1	34,9	34,1	35,5	36,8	37,2	35,6	36,1	35,1	26,9	0,0	35,4	36,6	31,1	33,6	33,1	30,3	26,4	19,1	20,5	30,3	30,2	30,3	36,7	23,2	32,2	27,1	29,0
14	40,5	39,0	36,9	53,7	37,9	47,5	41,3	36,6	37,2	40,8	38,7	39,3	34,4	0,0	31,5	31,6	32,4	44,1	37,6	35,0	34,2	36,8	36,0	38,5	38,3	38,4	36,8	39,1	38,5	39,0
15	38,7	35,1	44,1	57,4	49,5	46,5	41,8	39,0	35,1	38,3	36,9	34,7	37,0	31,5	0,0	30,4	27,6	32,8	50,6	41,6	40,6	32,5	34,3	36,2	35,5	47,5	31,9	34,1	45,0	46,6
16	36,5	32,1	31,4	39,4	30,9	28,9	31,3	31,0	30,5	34,8	33,4	31,3	29,5	24,0	25,4	0,0	20,6	27,2	28,3	27,1	28,0	28,8	28,9	30,7	27,0	29,5	26,6	29,5	31,6	30,4
17	39,2	38,0	33,5	40,2	36,8	32,6	31,9	33,0	34,0	38,5	30,4	38,2	31,8	32,3	27,7	23,4	0,0	32,6	35,9	26,3	32,7	31,4	32,9	32,2	32,5	33,7	28,1	37,5	36,9	37,5
18	39,3	38,5	38,3	46,4	41,3	40,3	42,1	42,2	37,7	40,8	32,6	38,7	33,4	44,1	44,8	32,0	32,7	0,0	46,5	36,7	34,9	34,6	35,1	39,0	38,8	42,1	36,7	38,4	41,2	43,5
19	40,3	40,0	40,5	48,9	43,5	46,5	46,0	44,9	39,5	40,6	34,6	40,5	33,5	37,6	50,3	33,4	35,3	46,5	0,0	39,3	38,3	37,8	37,4	36,2	39,0	43,1	38,7	40,6	41,1	43,6
20	38,1	36,8	34,4	41,2	37,5	37,5	39,1	39,8	35,9	37,5	30,4	36,5	26,9	34,9	39,5	28,8	29,4	36,5	35,9	0,0	30,3	29,2	32,2	31,7	34,7	30,8	28,0	35,4	37,4	30,7
21	36,2	32,9	36,2	39,4	39,3	36,3	39,7	40,2	35,4	32,9	32,4	31,3	19,9	34,1	40,1	29,7	32,3	34,8	34,8	28,3	0,0	21,0	25,3	26,2	26,9	39,4	29,5	25,0	37,2	39,1
22	38,1	35,5	32,7	41,0	38,1	34,8	34,1	34,7	36,2	37,0	27,2	34,3	22,3	36,1	31,6	30,0	31,8	35,6	38,3	31,5	23,5	0,0	28,1	28,6	29,1	38,6	25,1	30,9	37,3	36,5
23	37,2	37,3	31,8	40,9	38,7	36,0	36,7	35,4	36,2	35,4	32,7	37,1	30,8	35,4	33,9	30,1	36,3	37,5	38,8	32,4	27,6	32,4	0,0	22,3	27,6	35,6	32,3	32,5	33,8	37,0
24	39,9	35,9	31,6	39,8	37,8	35,4	37,1	35,7	36,9	35,4	34,7	35,4	30,8	36,0	34,3	30,6	35,0	36,4	37,6	32,0	28,2	31,9	28,9	0,0	18,9	34,9	31,9	31,6	33,2	35,9
25	36,0	34,2	31,1	43,9	35,9	34,8	38,5	36,6	38,3	32,9	31,4	33,5	30,5	38,1	35,3	30,5	28,8	35,4	35,2	31,6	28,5	31,0	26,3	25,0	0,0	33,8	31,1	27,1	32,3	35,9
26	40,6	40,4	41,2	45,8	41,5	44,8	44,8	44,2	37,2	37,2	38,2	40,9	40,9	38,4	47,3	32,0	36,2	42,1	43,1	34,9	34,2	31,5	33,4	32,8	36,6	0,0	32,5	35,7	42,7	47,9
27	38,9	37,4	32,0	41,0	38,0	34,2	33,5	34,3	35,8	38,3	29,2	37,2	24,4	35,5	30,5	28,3	28,1	38,0	37,7	29,7	30,6	26,0	31,4	30,9	30,9	32,8	0,0	36,4	36,9	39,0
28	40,6	40,3	32,2	42,6	40,1	37,0	35,7	36,1	38,4	40,0	32,8	42,1	31,0	39,0	33,4	31,3	39,9	39,7	40,8	33,1	26,4	34,6	32,9	28,3	29,7	36,8	33,5	0,0	35,1	39,0
29	40,4	40,0	42,8	43,6	40,6	43,2	43,5	43,3	38,5	36,3	37,0	40,9	28,2	38,5	44,9	33,5	37,8	41,3	41,1	37,4	41,2	33,9	30,9	30,7	30,7	42,7	36,5	33,2	0,0	43,3
30	38,4	37,2	40,9	44,9	40,7	44,1	44,3	43,8	38,8	39,8	34,6	40,5	29,6	39,0	46,5	32,9	39,5	43,2	43,6	39,1	40,2	34,4	36,3	35,1	38,3	47,9	38,4	40,5	43,3	0,0

Таблиця Г.2 – Матриця відстаней пересувань між ТР в моделі району Лонгб'єн, км

ТР	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,0	5,7	7,2	13,8	13,0	12,8	12,7	14,3	11,6	6,0	2,5	4,8	5,7	9,5	10,6	7,6	8,1	10,1	11,6	7,8	6,4	6,9	5,4	4,2	5,5	9,7	7,7	6,1	7,3	8,6
2	5,2	0,0	4,9	11,1	9,6	9,1	10,4	12,7	9,7	6,8	3,9	1,2	2,6	7,8	8,4	7,0	4,4	6,5	7,9	5,3	3,4	3,2	3,9	4,9	5,8	6,5	4,0	2,8	4,2	5,5
3	7,2	4,9	0,0	8,4	6,6	9,6	11,5	14,0	11,0	8,2	6,0	3,9	2,1	8,6	9,7	8,3	5,7	7,1	5,5	3,9	2,4	3,2	5,2	6,2	7,1	3,2	4,2	4,2	2,0	3,6
4	14,5	11,3	8,4	0,0	3,5	4,7	6,7	9,2	11,1	13,0	12,1	10,2	8,4	7,3	4,8	8,5	6,7	4,9	3,3	6,3	7,4	8,5	10,4	11,7	10,3	5,1	7,6	9,3	7,2	5,3
5	13,0	10,4	6,6	3,5	0,0	4,7	6,6	9,1	10,1	12,0	11,5	9,2	7,5	7,3	4,8	7,4	5,8	3,7	2,2	5,2	5,9	7,5	9,4	10,4	9,1	3,2	6,6	8,4	5,5	3,8
6	12,3	9,1	8,8	3,9	3,9	0,0	5,2	7,7	9,0	10,4	9,9	7,9	8,7	5,8	3,3	5,9	4,8	2,8	3,7	5,6	7,0	7,4	8,3	9,1	7,7	5,4	6,7	7,2	7,6	5,6
7	12,6	10,8	11,6	6,8	6,7	4,4	0,0	6,5	7,9	9,8	10,6	9,7	11,6	3,3	2,2	5,3	6,3	4,7	6,5	9,0	10,5	8,9	8,3	8,5	7,1	8,3	7,9	9,0	10,4	8,5
8	14,4	13,1	14,1	9,2	9,2	6,8	5,5	0,0	10,1	11,6	12,4	11,9	13,7	4,9	5,7	7,1	8,5	8,2	9,0	11,5	12,9	11,1	10,4	10,3	8,9	10,8	10,2	11,2	12,9	10,9
9	11,7	10,1	11,0	11,0	10,1	8,6	8,4	10,0	0,0	9,0	9,7	8,9	10,4	5,1	6,3	3,8	5,5	5,9	7,9	7,4	8,8	8,1	7,5	7,6	6,1	9,1	7,2	8,2	9,6	8,1
10	5,4	6,4	9,2	13,8	12,1	10,4	9,9	11,5	8,8	0,0	3,4	5,2	7,5	6,6	7,8	4,8	6,3	7,8	9,8	7,1	6,0	5,1	3,3	2,3	2,7	9,2	5,8	4,0	7,2	8,4
11	2,5	3,7	5,8	11,5	10,8	9,5	10,9	12,4	9,8	4,1	0,0	2,2	4,3	7,6	8,8	5,7	4,8	6,9	8,4	5,7	5,0	3,6	3,6	2,4	3,6	8,3	4,4	3,4	5,9	7,2
12	4,3	1,2	3,8	9,9	8,6	7,9	9,3	11,5	8,6	5,7	2,8	0,0	1,6	6,7	7,3	5,9	3,2	5,3	6,8	4,1	2,3	2,0	2,7	3,7	4,6	5,4	2,8	1,6	3,2	4,5
13	5,5	2,6	2,2	8,4	7,2	9,6	11,5	13,8	10,3	7,5	4,3	1,6	0,0	8,4	9,7	7,6	5,0	6,1	5,4	3,0	1,5	1,6	4,5	5,5	6,4	4,4	2,6	3,4	1,6	3,1
14	9,5	8,2	8,4	7,7	5,8	5,3	3,2	4,8	5,1	6,7	7,5	7,1	8,4	0,0	1,3	2,2	3,7	2,1	3,6	4,8	6,2	6,3	5,4	5,3	4,0	5,9	5,3	6,4	7,0	5,5
15	10,6	8,8	9,7	4,8	4,8	2,5	2,2	4,8	6,3	7,8	8,6	7,7	9,7	1,3	0,0	3,3	4,3	2,7	4,6	7,1	8,6	6,9	6,6	6,5	5,1	6,4	5,9	7,0	8,5	6,5
16	7,6	7,5	8,3	9,3	7,1	5,9	5,4	7,0	4,1	4,8	5,6	6,3	7,8	2,1	3,3	0,0	2,9	3,3	4,9	4,7	6,1	5,5	3,6	3,5	2,1	6,5	4,5	4,2	7,0	5,4
17	7,6	4,4	5,6	6,7	5,8	4,7	6,2	8,2	5,3	6,5	5,2	3,2	4,7	3,5	4,1	2,6	0,0	2,2	3,5	2,1	3,6	2,4	3,6	4,6	4,3	4,6	1,4	2,5	4,6	3,7
18	9,6	6,4	6,5	4,6	3,7	2,8	5,2	7,7	6,1	8,0	7,2	5,3	6,2	2,1	3,4	3,5	2,1	0,0	1,5	2,9	4,3	4,1	5,6	6,6	5,1	3,8	3,3	4,6	5,1	3,6
19	11,4	8,2	5,5	3,3	2,2	4,5	6,4	8,9	7,9	9,8	8,9	7,0	5,9	3,6	4,6	5,2	3,6	1,5	0,0	3,0	4,8	5,3	7,2	8,2	6,9	2,3	4,4	6,2	4,4	2,2
20	8,2	5,0	3,7	6,3	5,2	6,2	8,6	11,1	7,2	7,0	5,8	3,8	3,2	4,8	6,8	4,5	2,0	2,9	3,0	0,0	1,5	2,1	4,1	5,0	6,2	2,1	1,3	3,0	2,3	1,1
21	6,4	3,4	2,3	7,4	6,2	7,6	10,4	12,9	8,6	6,0	5,1	2,4	1,7	6,2	8,5	5,9	3,6	4,3	4,4	1,5	0,0	1,1	3,1	4,1	5,0	3,1	2,2	2,0	1,1	2,1
22	6,2	3,0	3,0	8,5	7,3	7,3	8,6	10,8	7,9	5,1	3,8	1,8	1,9	6,0	6,6	5,2	2,5	4,2	5,3	2,1	1,1	0,0	2,2	3,2	4,1	4,2	1,0	1,1	2,2	3,2
23	5,6	4,2	5,0	10,0	9,1	8,0	8,6	10,2	7,3	3,3	3,6	3,0	4,4	5,3	6,5	3,5	3,3	5,4	6,9	4,1	3,1	2,1	0,0	1,1	2,0	6,2	2,9	1,0	4,2	5,4
24	4,5	5,0	5,9	10,9	10,0	8,9	8,6	10,1	7,4	2,4	2,5	3,9	5,2	5,3	6,5	3,4	4,2	6,2	7,7	5,0	3,9	3,0	1,1	0,0	1,3	7,1	3,7	1,9	5,1	6,3
25	5,6	6,5	7,3	11,1	8,9	7,7	7,2	8,8	6,1	2,8	3,6	5,3	6,7	4,0	5,1	2,1	4,6	5,0	6,7	6,4	5,4	4,5	2,2	1,5	0,0	8,3	5,2	2,8	6,5	7,1
26	9,7	7,4	3,2	5,1	3,2	6,3	8,2	10,7	9,0	9,0	8,4	6,4	4,6	5,9	6,4	6,3	4,4	3,8	2,3	2,1	2,9	4,0	6,0	7,0	8,1	0,0	3,2	5,0	2,4	0,8
27	6,9	3,7	4,0	7,4	6,5	6,2	7,6	9,8	6,9	5,7	4,5	2,5	2,9	5,0	5,6	4,2	1,4	3,4	4,3	1,3	2,2	1,0	2,8	3,8	4,7	3,3	0,0	1,7	3,2	2,6
28	6,3	3,1	4,0	9,0	8,1	7,0	8,3	10,5	7,6	4,0	4,0	2,0	3,3	5,7	6,3	4,2	2,3	4,3	5,8	3,1	2,0	1,1	1,2	2,1	2,7	5,2	1,8	0,0	3,2	4,4
29	7,0	4,2	1,8	7,2	5,5	8,4	10,3	12,8	9,4	7,2	5,8	3,2	1,6	7,0	8,5	6,7	4,7	5,1	4,4	2,3	1,1	2,2	4,2	5,2	6,1	2,4	3,2	3,2	0,0	1,8
30	8,6	5,8	3,6	5,3	3,8	6,4	8,4	10,9	8,1	8,3	7,2	5,1	3,1	5,6	6,5	5,4	3,5	3,6	2,2	1,1	2,1	3,2	5,4	6,4	7,1	0,8	2,6	4,3	1,8	0,0

Таблиця Г.3 – Матриця значень 0,05-квантилів розподілу ШР між ТР в районі Лонгб'єн, км/год

ТР	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,0	29,8	29,8	28,7	29,5	27,9	29,5	28,2	29,5	30,2	29,5	30,4	27,2	29,8	28,3	27,9	29,3	29,2	29,7	26,3	25,0	28,5	27,7	27,6	25,2	29,9	28,7	28,6	29,7	28,4
2	29,8	0,0	29,5	30,9	28,1	27,1	26,2	26,4	28,0	29,1	24,6	30,7	21,7	28,4	24,7	24,0	28,7	28,8	29,5	26,7	21,5	26,9	25,0	24,0	23,6	27,8	27,5	29,7	29,4	27,5
3	29,8	29,5	0,0	31,8	29,6	31,5	31,9	31,8	27,0	25,5	27,0	30,2	30,1	26,7	32,8	23,4	23,6	29,9	29,8	24,6	26,7	23,0	21,6	21,4	21,4	30,5	22,5	22,9	31,5	30,2
4	30,7	30,9	31,8	0,0	36,1	40,3	38,2	36,1	30,5	32,1	27,0	31,3	25,3	40,9	44,3	30,4	29,3	37,2	37,2	32,2	29,2	29,9	29,2	31,4	31,8	34,5	30,8	31,5	32,5	33,7
5	29,6	29,3	29,6	36,0	0,0	34,4	34,2	33,4	28,8	29,6	27,0	29,6	26,8	36,8	37,5	24,9	26,4	30,5	32,5	29,1	26,5	27,8	27,4	26,6	28,5	30,7	28,7	29,5	30,0	30,0
6	27,5	26,6	30,6	39,1	32,4	0,0	32,9	32,4	27,1	27,2	23,2	26,5	24,7	36,2	36,7	22,1	23,9	29,6	33,0	27,1	26,0	26,2	24,6	25,9	25,2	32,1	27,0	26,2	31,0	31,5
7	28,5	26,6	31,9	38,1	34,2	31,4	0,0	28,6	25,2	28,3	27,2	26,5	27,0	26,3	30,8	23,8	22,3	27,2	34,6	30,0	29,5	25,0	24,8	26,9	26,6	33,6	24,8	26,2	32,5	33,1
8	27,5	26,0	31,9	36,2	33,4	31,4	27,9	0,0	25,3	27,1	26,3	25,9	26,9	24,6	31,3	23,3	22,6	30,8	33,7	30,4	29,8	24,7	24,9	25,9	25,5	33,1	24,5	25,6	32,3	32,8
9	28,2	27,6	27,0	30,4	28,8	27,0	29,5	27,7	0,0	27,9	26,8	27,6	25,0	30,0	27,5	19,0	23,2	28,8	28,9	26,1	25,4	26,0	24,8	26,4	25,7	26,5	25,9	27,4	28,1	28,3
10	30,3	25,9	29,7	33,2	28,8	27,0	29,6	28,0	29,6	0,0	27,1	25,6	26,7	30,1	28,0	27,3	28,2	28,0	29,0	25,7	23,5	26,9	26,3	26,5	22,1	27,1	26,3	28,3	26,5	28,1
11	29,1	20,6	25,9	26,2	25,3	22,8	27,4	26,3	27,2	25,1	0,0	15,2	22,3	26,9	25,7	24,1	20,4	22,4	23,8	20,4	20,9	17,8	21,9	19,8	19,6	27,1	19,3	18,4	25,9	25,3
12	30,2	30,7	30,2	31,3	28,2	27,0	26,1	26,3	28,1	29,5	21,5	0,0	19,2	28,6	24,3	23,4	29,2	29,1	29,9	26,8	19,7	26,7	24,1	23,1	22,8	27,9	27,6	31,6	30,2	27,6
13	29,1	21,1	31,2	25,0	24,4	25,6	26,7	27,1	25,7	26,1	25,2	18,3	0,0	25,5	26,5	21,8	24,0	23,6	21,2	17,9	12,1	13,1	21,2	21,1	21,2	26,6	15,3	22,8	18,5	20,1
14	29,9	28,6	26,7	41,3	27,6	35,9	30,5	26,5	27,0	30,1	28,3	28,8	24,6	0,0	22,2	22,3	22,9	33,0	27,3	25,2	24,5	26,7	26,0	28,2	28,0	28,1	26,7	28,6	28,1	28,6
15	28,3	25,2	32,9	44,6	37,7	35,0	30,9	28,5	25,3	27,9	26,7	24,9	26,9	22,2	0,0	21,2	19,0	23,3	38,6	30,8	29,9	23,0	24,6	26,2	25,6	35,9	22,6	24,4	33,8	35,2
16	26,4	22,7	22,1	28,9	21,7	20,0	22,1	21,7	21,4	25,0	23,8	22,0	20,5	16,0	17,2	0,0	13,2	18,6	19,5	18,5	19,3	19,9	20,0	21,5	18,5	20,5	18,1	20,5	22,3	21,3
17	28,7	27,8	23,9	29,6	26,7	23,1	22,6	23,4	24,3	28,1	21,3	27,9	22,4	22,8	19,0	15,5	0,0	23,1	25,9	17,9	23,2	22,1	23,4	22,7	23,0	24,1	19,3	27,2	26,7	27,3
18	28,8	28,1	27,9	35,0	30,5	29,7	31,2	31,3	27,4	30,1	23,1	28,3	23,8	33,0	33,5	22,6	23,2	0,0	35,0	26,6	25,1	24,8	25,2	28,6	28,4	31,2	26,6	28,0	30,4	32,4
19	29,7	29,5	29,8	37,1	32,5	35,0	34,6	33,7	29,0	29,9	24,8	29,8	23,8	27,3	38,4	23,8	25,4	35,1	0,0	28,8	28,0	27,5	27,2	26,2	28,6	32,1	28,3	29,9	30,4	32,5
20	27,8	26,7	24,7	30,4	27,3	27,2	28,7	29,3	25,9	27,3	21,3	26,4	18,3	25,1	29,0	19,9	20,4	26,4	25,9	0,0	21,2	20,2	22,8	22,4	24,9	21,6	19,3	25,5	27,2	21,5
21	26,1	23,4	26,2	28,9	28,8	26,2	29,2	29,6	25,5	23,4	22,9	22,0	12,6	24,4	29,5	20,7	22,9	25,0	24,9	19,5	0,0	13,6	17,0	17,8	18,4	28,9	20,5	16,8	27,1	28,6
22	27,8	25,6	23,2	30,3	27,8	25,0	24,4	24,9	26,2	26,9	18,6	24,6	14,6	26,1	22,3	20,9	22,5	25,6	28,0	22,2	15,6	0,0	19,4	19,8	20,2	28,2	16,9	21,7	27,1	26,4
23	27,0	27,1	22,4	30,2	28,3	26,0	26,6	25,5	26,2	25,5	23,2	26,9	21,6	25,5	24,3	21,0	26,3	27,3	28,4	22,9	19,0	23,0	0,0	14,6	18,9	25,6	22,9	23,0	24,1	26,8
24	29,4	25,9	22,3	29,3	27,6	25,5	26,9	25,8	26,7	25,5	24,9	25,5	21,6	26,0	24,6	21,5	25,1	26,3	27,4	22,6	19,5	22,5	20,0	0,0	11,9	25,1	22,5	22,3	23,6	26,0
25	26,0	24,5	21,9	32,8	25,9	25,0	28,1	26,5	28,0	23,4	22,1	23,9	21,3	27,8	25,4	21,4	19,9	25,5	25,3	22,3	19,7	21,8	17,8	16,8	0,0	24,1	21,9	18,5	22,8	25,9
26	29,9	29,7	30,5	34,4	30,7	33,5	33,6	33,0	27,1	27,0	27,9	30,2	30,2	28,1	35,7	22,6	26,2	31,2	32,1	25,1	24,5	22,2	23,8	23,3	26,5	0,0	23,0	25,8	31,8	36,2
27	28,5	27,2	22,6	30,3	27,7	24,5	23,8	24,6	25,8	28,0	20,3	27,1	16,3	25,6	21,3	19,5	19,3	27,7	27,5	20,7	21,5	17,6	22,1	21,7	21,7	23,3	0,0	26,4	26,7	28,5
28	29,9	29,7	22,8	31,6	29,5	26,8	25,8	26,1	28,0	29,4	23,3	31,2	21,8	28,6	23,8	22,0	29,4	29,2	30,1	23,5	18,0	24,8	23,4	19,5	20,7	26,7	23,9	0,0	25,2	28,5
29	29,7	29,4	31,8	32,5	30,0	32,1	32,4	32,2	28,1	26,3	26,8	30,2	19,4	28,2	33,7	23,9	27,5	30,5	30,4	27,2	30,4	24,2	21,7	21,5	21,5	31,8	26,4	23,7	0,0	32,2
30	28,0	27,0	30,2	33,6	30,0	32,9	33,1	32,7	28,4	29,3	24,8	29,9	20,6	28,6	35,0	23,3	29,0	32,2	32,5	28,7	29,6	24,6	26,3	25,2	27,9	36,2	28,1	29,8	32,2	0,0

Таблиця Г.4 – Матриця значень 0,95-квантилів розподілу ШР між ТР в районі Лонгб'єн, км/год

ТР	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,0	50,0	50,0	50,0	50,0	49,9	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	48,9	50,0	50,0	49,9	50,0	50,0	50,0	47,7	46,0	50,0	49,6	49,5	46,3	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
2	50,0	0,0	50,0	50,0	50,0	48,8	47,6	47,8	50,0	50,0	45,5	50,0	41,5	50,0	45,6	44,6	50,0	50,0	50,0	48,3	41,2	48,5	46,0	44,6	44,1	49,7	49,4	50,0	50,0	49,3
3	50,0	50,0	0,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	48,6	46,6	48,6	50,0	50,0	48,2	50,0	43,8	44,0	50,0	50,0	45,4	48,2	43,3	41,2	41,0	41,1	50,0	42,5	43,1	50,0	50,0
4	50,0	50,0	50,0	0,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	48,6	50,0	46,4	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
5	50,0	50,0	50,0	50,0	0,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	48,6	50,0	48,4	50,0	50,0	45,9	47,9	50,0	50,0	50,0	48,0	49,7	49,3	48,2	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
6	49,3	48,2	50,0	50,0	50,0	0,0	50,0	50,0	48,8	48,9	43,5	48,0	45,6	50,0	50,0	42,0	44,5	50,0	50,0	48,8	47,4	47,6	45,5	47,2	46,3	50,0	48,7	47,6	50,0	50,0
7	50,0	48,1	50,0	50,0	50,0	50,0	0,0	50,0	46,3	50,0	49,0	47,9	48,6	47,7	50,0	44,4	42,3	49,0	50,0	50,0	50,0	45,9	45,7	48,6	48,2	50,0	45,7	47,6	50,0	50,0
8	49,3	47,3	50,0	50,0	50,0	50,0	49,9	0,0	46,4	48,8	47,7	47,1	48,5	45,4	50,0	43,6	42,7	50,0	50,0	50,0	50,0	45,5	45,8	47,2	46,7	50,0	45,3	46,8	50,0	50,0
9	50,0	49,5	48,7	50,0	50,0	48,7	50,0	49,6	0,0	49,9	48,4	49,5	46,0	50,0	49,3	37,6	43,5	50,0	50,0	47,4	46,6	47,3	45,8	47,8	47,0	48,0	47,2	49,2	50,0	50,0
10	50,0	47,2	50,0	50,0	50,0	48,6	50,0	50,0	50,0	0,0	48,9	46,8	48,3	50,0	50,0	49,1	50,0	50,0	50,0	46,9	43,9	48,6	47,7	48,0	42,0	48,8	47,7	50,0	48,0	50,0
11	50,0	39,9	47,3	47,6	46,3	42,9	49,2	47,8	48,9	46,1	0,0	32,2	42,3	48,5	46,9	44,7	39,6	42,5	44,4	39,7	40,3	35,9	41,7	38,8	38,5	48,8	38,1	36,8	47,2	46,3
12	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	48,7	47,4	47,7	50,0	50,0	41,2	0,0	38,0	50,0	45,0	43,8	50,0	50,0	50,0	48,5	38,7	48,2	44,8	43,4	43,0	49,9	49,5	50,0	50,0	49,5
13	50,0	40,6	50,0	46,0	45,2	46,8	48,3	48,7	46,9	47,5	46,3	36,7	0,0	46,7	48,1	41,6	44,6	44,0	40,7	36,2	27,5	29,2	40,8	40,7	40,7	48,2	32,4	42,9	37,0	39,3
14	50,0	50,0	48,3	50,0	49,5	50,0	50,0	48,0	48,7	50,0	50,0	45,4	0,0	42,1	42,3	43,1	50,0	49,1	46,2	45,3	48,2	47,3	50,0	50,0	50,0	48,3	50,0	50,0	50,0	50,0
15	50,0	46,2	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	46,3	49,9	48,3	45,8	48,5	42,1	0,0	40,8	37,6	43,7	50,0	50,0	50,0	43,3	45,4	47,6	46,8	50,0	42,6	45,2	50,0	50,0
16	47,9	42,8	42,0	50,0	41,4	39,1	41,9	41,5	41,0	45,9	44,3	41,9	39,8	33,4	35,1	0,0	29,3	37,1	38,4	37,0	38,1	39,0	39,1	41,2	36,9	39,8	36,4	39,8	42,3	40,8
17	50,0	49,7	44,5	50,0	48,3	43,4	42,6	43,9	45,0	50,0	40,9	49,9	42,5	43,0	37,7	32,6	0,0	43,4	47,2	36,1	43,5	42,0	43,8	42,9	43,2	44,7	38,1	49,0	48,3	49,1
18	50,0	50,0	49,9	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	49,2	50,0	43,4	50,0	44,3	50,0	50,0	42,7	43,5	0,0	50,0	48,1	46,1	45,7	46,3	50,0	50,0	50,0	48,1	50,0	50,0	50,0
19	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	45,8	50,0	44,4	49,1	50,0	44,3	46,6	50,0	0,0	50,0	50,0	49,3	48,9	47,6	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
20	49,7	48,2	45,5	50,0	49,1	49,0	50,0	50,0	47,2	49,0	40,8	47,9	36,7	46,1	50,0	39,0	39,7	47,9	47,2	0,0	40,8	39,4	43,0	42,3	45,8	41,3	38,1	46,7	48,9	41,2
21	47,5	43,7	47,5	50,0	50,0	47,6	50,0	50,0	46,7	43,8	43,1	41,9	28,4	45,2	50,0	40,1	43,1	46,0	45,9	38,4	0,0	29,8	34,8	36,0	36,8	50,0	39,8	34,5	48,7	50,0
22	49,8	46,8	43,5	50,0	49,8	46,0	45,1	45,9	47,6	48,5	37,1	45,4	31,3	47,5	42,2	40,3	42,5	46,8	50,0	42,2	32,8	0,0	38,2	38,7	39,3	50,0	34,6	41,5	48,9	47,9
23	48,7	48,8	42,5	50,0	50,0	47,3	48,2	46,7	47,6	46,6	43,5	48,6	41,4	46,7	45,0	40,5	47,7	49,1	50,0	43,1	37,6	43,2	0,0	31,4	37,5	46,8	43,0	43,3	44,8	48,4
24	50,0	47,2	42,3	50,0	49,4	46,6	48,6	47,0	48,3	46,6	45,9	46,7	41,3	47,3	45,4	41,1	46,2	47,8	49,2	42,8	38,3	42,6	39,1	0,0	27,3	46,0	42,6	42,2	44,1	47,3
25	47,4	45,3	41,7	50,0	47,3	45,9	50,0	48,0	50,0	43,8	42,0	44,5	40,9	49,7	46,6	41,0	39,0	46,6	46,4	42,2	38,7	41,6	36,0	34,5	0,0	44,8	41,7	37,0	43,0	47,2
26	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	48,8	48,7	49,8	50,0	50,0	50,0	50,0	42,7	47,6	50,0	50,0	46,1	45,2	42,1	44,3	43,7	48,1	0,0	43,3	47,0	50,0	50,0
27	50,0	48,9	42,8	50,0	49,6	45,2	44,4	45,4	47,1	50,0	39,5	48,7	33,8	46,8	40,9	38,4	38,1	49,6	49,3	40,1	41,1	35,7	42,0	41,4	41,4	43,7	0,0	47,8	48,3	50,0
28	50,0	50,0	42,9	50,0	50,0	48,4	47,0	47,5	50,0	50,0	43,6	50,0	41,5	50,0	44,3	41,9	50,0	50,0	50,0	44,0	36,2	45,8	43,8	38,4	40,1	48,3	44,4	0,0	46,2	50,0
29	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	47,7	48,4	50,0	38,2	50,0	50,0	44,5	49,4	50,0	50,0	48,9	50,0	44,9	41,5	41,2	41,2	50,0	47,9	44,1	0,0	50,0
30	50,0	48,7	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	45,7	50,0	40,0	50,0	50,0	43,7	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	45,5	47,7	46,3	49,9	50,0	50,0	50,0	50,0	0,0

Таблиця Г.5 – Матриця середніх швидкостей пересувань між ТР в моделі району Лонгб'єн при використанні раціональних світлофорних циклів, км/год

ТР	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,0	40,5	40,4	39,2	40,2	38,3	40,1	36,7	40,1	40,9	40,1	41,2	37,3	40,5	38,3	38,4	39,8	40,0	40,3	36,0	34,6	38,9	38,2	37,9	35,1	40,6	39,4	39,3	40,5	38,2
2	40,5	0,0	40,1	41,7	36,7	37,3	36,3	35,0	38,1	39,8	34,3	41,5	31,5	38,6	35,7	33,6	39,1	39,6	40,1	36,6	30,4	36,9	36,1	39,7	33,3	37,4	38,1	40,3	40,3	36,9
3	40,5	40,1	0,0	42,7	40,2	42,5	42,9	43,2	37,6	34,3	37,0	40,9	42,7	38,2	44,0	33,7	36,3	38,7	40,4	34,7	38,0	30,0	30,1	32,8	29,7	41,2	35,3	30,5	42,4	40,9
4	40,7	40,7	42,7	0,0	47,7	52,6	50,1	48,5	41,3	42,8	36,2	41,1	35,9	53,3	57,1	37,6	38,4	49,0	49,0	43,0	40,6	40,6	40,4	41,7	42,2	45,8	41,9	42,5	43,6	44,9
5	39,5	37,3	40,2	47,7	0,0	45,7	45,5	45,3	39,2	40,2	36,7	38,8	34,3	48,5	49,3	35,0	35,1	41,3	43,5	40,1	37,5	38,0	38,4	39,9	38,9	41,5	39,0	40,2	40,6	40,7
6	37,7	36,6	41,3	51,2	43,5	0,0	44,1	44,2	35,2	37,6	32,7	36,5	35,1	42,1	48,4	32,1	33,4	40,2	44,2	36,0	35,9	36,8	34,9	35,8	35,4	43,1	36,5	36,1	41,9	42,4
7	38,6	35,9	42,9	50,1	45,5	42,3	0,0	39,8	35,8	38,2	37,4	35,7	37,7	32,8	41,6	31,5	31,6	37,1	46,0	33,9	34,1	34,7	35,8	36,3	36,0	44,8	34,4	35,3	43,5	44,3
8	37,6	35,5	42,7	47,6	44,5	42,1	38,0	0,0	35,8	37,0	36,4	35,3	38,4	33,9	42,0	32,5	31,3	39,8	44,8	39,1	41,5	33,8	35,1	35,9	35,6	44,1	33,6	35,1	43,2	43,7
9	39,4	37,5	37,6	44,4	39,1	37,4	37,6	35,3	0,0	39,3	38,2	37,5	34,4	40,7	37,2	30,2	32,0	39,2	39,3	35,2	35,4	35,4	36,7	37,3	37,1	38,0	35,3	37,2	38,6	39,0
10	41,0	35,9	40,4	45,0	38,0	37,0	40,2	36,1	40,3	0,0	38,4	35,5	36,2	40,8	37,9	37,7	38,8	39,8	37,9	35,5	32,3	37,3	37,8	37,6	31,4	37,0	36,7	39,1	35,9	38,1
11	39,7	28,3	35,5	36,0	34,9	32,0	37,6	34,4	37,4	35,0	0,0	22,4	31,1	37,0	35,3	33,9	28,9	31,7	33,1	28,7	29,4	25,7	31,3	28,6	28,4	37,0	27,8	27,6	35,7	33,5
12	40,9	41,5	40,9	42,2	40,0	37,3	36,1	34,8	38,2	40,3	28,9	0,0	28,6	38,8	35,5	32,9	39,7	40,1	40,6	36,3	28,1	36,5	35,6	40,4	32,4	37,4	38,4	42,5	41,4	36,9
13	39,3	30,6	42,3	36,0	33,0	36,5	37,7	38,5	35,3	36,0	34,6	27,5	0,0	35,2	37,7	31,0	33,4	34,3	31,6	27,8	18,2	18,4	30,9	34,2	30,3	35,2	21,6	31,8	27,5	29,9
14	40,6	37,5	38,2	53,7	47,0	47,5	41,3	31,6	39,0	40,8	39,2	37,5	33,9	0,0	29,6	31,4	31,6	44,1	36,8	35,2	35,2	36,1	37,4	39,1	39,6	37,9	35,9	37,2	39,8	40,7
15	38,4	34,4	44,1	57,4	49,5	46,5	41,7	40,0	36,0	37,9	36,9	34,0	37,7	29,6	0,0	29,6	27,8	33,4	50,6	31,3	40,6	32,7	33,9	36,1	35,7	47,5	32,0	33,4	45,0	46,6
16	37,5	35,1	32,5	42,9	31,8	30,3	33,2	29,4	31,4	36,2	35,1	34,7	31,9	27,0	26,9	0,0	20,8	29,5	29,4	27,0	28,8	30,5	30,4	32,9	30,4	31,6	26,6	30,8	32,6	31,6
17	39,0	37,7	36,2	38,9	35,6	33,1	32,1	31,2	33,9	38,4	30,2	37,7	31,2	33,0	30,1	23,8	0,0	32,7	34,0	25,6	32,7	30,9	33,8	37,7	32,4	34,3	28,0	36,8	37,7	35,1
18	39,7	39,2	38,8	46,4	41,3	40,3	42,1	42,9	37,9	40,8	33,0	39,6	34,3	44,1	44,8	31,3	28,3	0,0	46,5	34,4	34,7	35,4	36,7	38,7	38,8	42,1	35,3	39,4	41,2	43,5
19	39,3	38,7	40,5	48,9	43,5	46,5	46,0	45,6	39,4	40,6	33,5	38,9	31,4	36,8	50,3	33,7	33,2	46,5	0,0	39,0	36,5	37,7	38,2	40,2	39,0	43,1	39,1	40,7	41,1	43,6
20	38,3	36,7	35,1	41,1	37,5	37,7	34,4	37,4	36,1	37,6	30,3	36,5	28,7	36,8	39,8	29,4	27,3	37,0	35,8	0,0	30,2	28,9	33,2	36,7	35,3	33,3	27,4	35,4	37,3	30,4
21	34,8	30,8	38,0	40,0	36,9	36,3	39,8	40,4	35,5	32,1	30,9	28,7	17,7	35,3	41,7	30,2	32,7	34,9	35,9	29,6	0,0	18,8	25,0	29,3	26,3	38,6	29,3	23,5	41,2	37,9
22	38,2	35,7	30,0	41,3	36,8	33,9	33,3	32,5	34,9	37,3	27,2	34,5	18,8	34,5	32,1	28,9	28,8	32,9	38,8	30,5	20,8	0,0	29,8	35,7	29,3	34,9	24,2	31,2	34,4	37,2
23	38,2	37,8	30,6	41,1	39,0	36,3	37,6	33,8	37,2	37,0	34,8	37,9	30,8	36,8	34,5	31,9	37,0	38,4	39,1	32,3	26,7	33,0	0,0	26,5	27,6	35,3	33,1	34,2	33,0	36,6
24	39,9	35,6	30,1	39,7	37,7	34,9	38,5	34,3	38,1	36,1	36,0	35,0	30,2	38,1	35,5	33,4	34,6	37,3	37,4	31,4	26,9	31,3	29,7	0,0	21,4	34,1	31,7	30,9	32,0	35,0
25	36,7	34,6	30,4	44,9	35,3	34,6	38,5	33,8	38,3	34,0	32,9	34,0	30,5	38,1	34,8	30,8	28,4	37,3	34,4	31,6	28,0	31,4	27,6	26,2	0,0	35,8	31,6	28,0	31,9	36,5
26	40,6	36,4	41,2	45,8	41,5	44,8	44,8	44,8	37,9	38,4	38,1	38,0	39,4	37,9	47,3	33,0	37,6	42,1	43,1	37,6	35,8	33,9	35,5	37,9	37,4	0,0	34,5	37,6	42,7	47,9
27	39,0	37,5	35,7	41,6	38,6	34,6	33,9	32,9	35,9	38,4	29,2	37,4	30,1	35,7	32,6	28,8	29,4	35,9	38,7	28,2	30,3	26,3	32,8	37,6	31,0	35,1	0,0	36,3	37,7	38,0
28	40,6	40,3	30,3	42,6	40,1	37,1	35,8	34,4	38,1	40,3	33,3	42,1	30,5	38,7	35,0	32,8	39,9	40,3	40,8	32,5	24,7	34,2	34,1	40,5	29,8	36,0	33,8	0,0	33,4	38,0
29	40,6	40,3	42,8	43,6	40,6	43,2	43,5	43,7	38,7	36,1	37,0	41,4	27,4	39,8	44,9	34,0	38,0	41,3	41,1	36,7	42,3	32,7	31,5	34,8	30,6	42,7	37,0	32,7	0,0	43,3
30	38,9	37,9	40,9	44,9	40,7	44,1	44,3	44,4	39,0	39,7	35,0	40,2	29,8	40,7	46,5	33,5	40,3	43,2	43,6	39,8	35,6	37,0	39,6	38,6	47,9	37,1	40,1	43,3	0,0	

Таблиця Г.6 – Матриця відстаней пересувань між ТР в моделі району Лонгб'єн при використанні раціональних світлофорних циклів, км

ТР	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,0	5,7	7,2	13,8	13,0	12,8	12,7	14,0	11,6	6,0	2,5	4,8	5,7	9,5	10,6	7,6	8,1	10,2	11,6	8,1	6,4	6,9	5,3	4,2	5,5	9,7	7,7	6,1	7,3	8,6
2	5,2	0,0	4,9	11,1	9,3	9,1	10,4	12,3	9,7	6,8	3,9	1,2	2,6	7,8	8,8	7,1	4,4	6,5	7,9	5,3	3,4	3,2	3,9	4,8	5,8	6,5	4,0	2,8	4,2	5,5
3	7,2	4,9	0,0	8,4	6,6	9,6	11,5	14,1	11,0	8,2	6,0	3,9	2,1	8,6	9,7	8,3	6,2	6,7	5,5	3,9	2,4	3,2	5,2	6,2	7,1	3,2	4,8	4,2	2,0	3,6
4	14,2	11,0	8,4	0,0	3,5	4,7	6,7	9,3	11,1	12,9	11,7	9,8	8,4	7,3	4,8	8,0	6,8	4,9	3,3	6,3	7,4	8,5	10,4	11,4	10,1	5,1	7,6	9,3	7,2	5,3
5	12,8	9,6	6,6	3,5	0,0	4,7	6,6	9,2	10,1	12,0	11,4	8,8	7,1	7,3	4,8	7,5	5,8	3,7	2,2	5,2	5,9	7,5	9,4	10,4	9,1	3,2	6,7	8,4	5,5	3,8
6	12,3	9,1	8,8	3,9	3,9	0,0	5,2	7,7	8,4	10,3	9,9	7,9	8,8	5,1	3,3	5,9	4,8	2,8	3,7	5,6	7,0	7,6	8,3	8,7	7,4	5,4	6,5	7,2	7,6	5,6
7	12,5	10,4	11,6	6,8	6,7	4,4	0,0	6,5	7,9	9,8	10,6	9,2	11,6	3,3	2,2	5,3	6,0	4,7	6,5	7,3	8,8	8,6	8,3	8,2	6,9	8,3	7,7	8,5	10,4	8,5
8	14,4	13,1	14,1	9,2	9,2	6,8	5,5	0,0	10,1	11,6	12,4	11,9	14,1	4,9	5,7	7,1	8,5	8,0	9,0	11,1	13,0	10,9	10,4	10,3	8,9	10,8	10,0	11,0	12,9	10,9
9	11,7	10,1	11,0	11,8	10,1	8,6	7,8	9,6	0,0	9,0	9,8	8,9	10,3	5,1	6,2	3,8	5,5	5,9	7,9	7,3	8,8	7,9	7,5	7,4	6,1	9,1	7,0	8,2	9,6	8,1
10	5,4	6,4	9,2	14,0	11,6	10,2	9,9	11,2	8,8	0,0	3,4	5,2	7,4	6,6	7,8	4,8	6,3	7,9	9,4	7,1	6,0	5,1	3,3	2,3	2,7	9,1	5,9	4,0	7,2	8,3
11	2,5	3,6	5,8	11,5	10,8	9,5	10,9	12,1	9,8	4,1	0,0	2,2	4,3	7,6	8,8	5,7	4,8	6,9	8,4	5,7	5,0	3,6	3,5	2,4	3,6	8,3	4,4	3,5	5,9	7,1
12	4,3	1,2	3,8	9,9	9,0	7,9	9,3	11,2	8,6	5,7	2,7	0,0	1,5	6,7	7,6	5,9	3,2	5,4	6,8	4,1	2,3	2,0	2,7	3,7	4,6	5,4	2,9	1,6	3,2	4,5
13	5,5	2,6	2,2	8,4	6,9	9,6	11,5	14,0	10,2	7,4	4,3	1,6	0,0	8,3	9,7	7,6	4,9	6,3	5,4	3,4	1,5	1,6	4,4	5,4	6,3	4,3	2,6	3,3	1,6	3,1
14	9,5	7,8	8,4	7,7	7,3	5,3	3,2	4,4	5,1	6,7	7,5	6,7	8,0	0,0	1,3	2,1	3,5	2,1	3,6	4,8	6,2	6,0	5,4	5,3	4,0	5,9	5,1	5,9	7,0	5,5
15	10,6	8,4	9,7	4,8	4,8	2,5	2,2	4,9	6,3	7,8	8,6	7,3	9,7	1,3	0,0	3,3	4,0	2,7	4,6	5,4	8,3	6,6	6,3	6,5	5,1	6,4	5,7	6,5	8,5	6,5
16	7,6	7,8	8,3	9,8	7,0	5,8	5,4	6,7	4,0	4,8	5,7	6,7	8,0	2,1	3,3	0,0	2,8	3,4	4,8	4,7	6,1	5,5	3,6	3,5	2,2	6,5	4,3	4,2	7,0	5,4
17	7,6	4,4	6,0	6,7	5,8	4,7	6,1	7,9	5,3	6,5	5,2	3,2	4,5	3,5	4,4	2,7	0,0	2,2	3,5	2,1	3,6	2,4	3,6	4,5	4,3	4,7	1,4	2,5	4,6	3,7
18	9,7	6,5	6,5	4,6	3,7	2,8	5,2	7,8	6,1	8,0	7,3	5,3	6,3	2,1	3,4	3,5	2,2	0,0	1,5	2,9	4,3	4,0	5,7	6,4	5,1	3,8	3,1	4,6	5,1	3,6
19	11,0	7,8	5,5	3,3	2,2	4,5	6,4	9,0	7,9	9,8	8,6	6,6	5,4	3,6	4,6	5,3	3,6	1,5	0,0	3,0	4,4	5,3	7,2	8,2	6,9	2,3	4,4	6,2	4,4	2,2
20	8,2	5,0	3,7	6,3	5,2	6,2	7,4	10,6	7,2	7,0	5,8	3,8	3,5	4,8	6,8	4,5	2,1	2,9	3,0	0,0	1,5	2,1	4,1	5,0	6,2	2,1	1,3	3,0	2,3	1,1
21	6,3	3,4	2,3	7,4	5,9	7,6	10,2	12,8	8,6	6,0	5,1	2,3	1,5	6,2	8,7	6,0	3,6	4,3	4,4	1,5	0,0	1,1	3,1	4,0	5,0	3,1	2,2	2,0	1,1	2,1
22	6,2	3,0	3,0	8,5	7,1	7,2	8,6	10,5	7,9	5,1	3,8	1,8	1,8	6,0	6,9	5,2	2,4	4,0	5,3	2,1	1,1	0,0	2,2	3,1	4,1	4,1	1,0	1,1	2,2	3,3
23	5,6	4,2	5,0	10,0	9,1	8,0	8,6	9,9	7,3	3,3	3,6	3,0	4,2	5,3	6,5	3,5	3,3	5,5	6,9	4,1	3,1	2,1	0,0	1,0	2,0	6,1	2,9	1,0	4,2	5,3
24	4,5	5,0	5,9	10,9	9,9	8,7	8,6	9,8	7,3	2,4	2,5	3,8	5,1	5,3	6,5	3,4	4,1	6,4	7,7	5,0	3,9	3,0	1,1	0,0	1,3	6,9	3,7	1,9	5,1	6,2
25	5,6	6,4	7,3	11,3	8,6	7,4	7,2	8,5	6,1	2,8	3,6	5,3	6,5	4,0	5,1	2,1	4,6	5,1	6,4	6,3	5,3	4,4	2,2	1,5	0,0	8,2	5,2	2,8	6,5	7,1
26	9,7	6,6	3,2	5,1	3,2	6,3	8,2	10,8	9,0	9,0	8,4	5,8	4,4	5,9	6,4	6,4	4,4	3,8	2,3	2,1	2,9	4,1	6,0	7,0	8,0	0,0	3,3	5,0	2,4	0,8
27	6,9	3,7	4,6	7,4	6,5	6,3	7,6	9,5	6,9	5,7	4,5	2,5	3,8	5,0	6,0	4,3	1,5	3,1	4,3	1,3	2,2	1,1	2,8	3,7	4,7	3,3	0,0	1,7	3,2	2,5
28	6,3	3,1	4,0	9,0	8,1	7,0	8,3	10,2	7,6	4,0	4,1	2,0	3,2	5,7	6,7	4,2	2,3	4,4	5,8	3,1	2,0	1,1	1,2	2,0	2,7	5,1	1,9	0,0	3,2	4,3
29	7,0	4,2	1,8	7,2	5,5	8,4	10,3	12,9	9,4	7,2	5,8	3,2	1,6	7,0	8,5	6,8	4,6	5,1	4,4	2,3	1,1	2,2	4,3	5,2	6,2	2,4	3,2	3,2	0,0	1,8
30	8,6	5,8	3,6	5,3	3,8	6,4	8,4	10,9	8,1	8,2	7,2	5,0	3,1	5,6	6,5	5,5	3,5	3,6	2,2	1,1	2,1	3,3	5,3	6,2	7,1	0,8	2,5	4,2	1,8	0,0

Таблиця Г.7 – Матриця значень 0,05-квантилів розподілу ШР між ТР в районі Лонгб'єн при використанні раціональних світлофорних циклів, км/год

ТР	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,0	29,8	29,8	28,8	29,6	27,9	29,5	26,6	29,5	30,2	29,5	30,4	27,2	29,8	28,0	28,1	29,3	29,5	29,7	26,0	24,8	28,5	27,9	27,6	25,2	29,9	28,9	28,8	29,9	27,9
2	29,8	0,0	29,5	30,9	26,6	27,1	26,2	25,2	27,8	29,2	24,6	30,7	22,2	28,2	25,8	24,0	28,6	29,1	29,5	26,5	21,2	26,8	26,1	29,1	23,7	27,2	27,8	29,7	29,6	26,8
3	29,8	29,5	0,0	31,8	29,6	31,6	31,9	32,2	27,4	24,6	26,9	30,2	31,8	27,9	32,8	24,0	26,3	28,3	29,8	24,9	27,7	20,9	21,0	23,3	20,7	30,5	25,4	21,4	31,5	30,2
4	30,0	30,0	31,8	0,0	36,1	40,3	38,2	36,8	30,6	31,8	26,2	30,3	25,9	40,9	44,3	27,3	28,0	37,2	37,2	32,0	30,0	29,9	29,8	30,8	31,3	34,5	31,1	31,6	32,5	33,7
5	29,0	27,1	29,6	36,0	0,0	34,4	34,2	34,0	28,7	29,6	26,6	28,4	24,6	36,8	37,5	25,1	25,2	30,5	32,5	29,5	27,3	27,7	28,0	29,3	28,5	30,7	28,6	29,6	30,0	30,0
6	27,4	26,5	30,6	39,1	32,4	0,0	32,9	33,1	25,4	27,4	23,2	26,4	25,3	31,2	36,7	22,7	23,8	29,6	33,0	26,0	25,9	26,7	25,1	25,8	25,5	32,1	26,4	26,1	31,0	31,5
7	28,2	25,9	31,9	38,1	34,2	31,4	0,0	29,3	25,8	27,9	27,2	25,7	27,5	23,3	30,8	22,2	22,3	27,0	34,6	24,2	24,4	24,9	25,9	26,3	26,0	33,6	24,6	25,4	32,5	33,1
8	27,3	25,6	31,8	36,0	33,3	31,2	27,7	0,0	25,8	26,9	26,4	25,4	28,0	24,2	31,1	23,0	22,0	29,2	33,6	28,7	30,7	24,1	25,3	25,9	25,7	33,0	24,0	25,2	32,2	32,6
9	28,9	27,3	27,4	33,2	28,7	27,2	27,4	25,4	0,0	28,8	27,9	27,3	24,6	30,0	27,0	21,1	22,6	28,7	28,9	25,3	25,5	25,5	26,6	27,1	26,9	27,7	25,4	27,0	28,3	28,6
10	30,3	25,9	29,7	33,7	27,7	26,8	29,6	26,1	29,7	0,0	28,0	25,6	26,2	30,2	27,6	27,5	28,4	29,2	27,6	25,6	22,9	27,1	27,5	27,3	22,1	26,9	26,6	28,6	26,0	27,8
11	29,1	19,6	25,6	26,0	25,0	22,6	27,4	24,7	27,2	25,1	0,0	14,7	21,9	26,9	25,4	24,2	20,0	22,4	23,6	19,9	20,4	17,4	22,0	19,8	19,6	26,8	19,1	19,0	25,7	23,9
12	30,2	30,7	30,2	31,3	29,4	27,1	26,1	25,0	27,9	29,7	20,0	0,0	19,8	28,4	25,6	23,4	29,1	29,5	29,9	26,2	19,4	26,5	25,6	29,8	23,0	27,2	28,0	31,6	30,6	26,8
13	28,8	21,5	31,4	26,0	23,5	26,4	27,4	28,1	25,4	26,0	24,8	18,8	0,0	25,3	27,4	21,7	23,8	24,6	22,2	19,1	11,3	11,5	21,7	24,5	21,2	25,3	14,0	22,5	18,8	20,8
14	29,9	27,3	27,9	41,3	35,5	35,9	30,5	22,3	28,6	30,1	28,8	27,3	24,2	0,0	20,6	22,1	22,2	33,0	26,7	25,3	25,3	26,1	27,2	28,7	29,1	27,6	25,9	27,0	29,2	30,1
15	28,0	24,7	32,9	44,6	37,7	35,0	30,9	29,4	26,0	27,6	26,8	24,3	27,4	20,6	0,0	20,6	19,1	23,8	38,6	22,0	29,9	23,2	24,2	26,1	25,8	35,9	22,6	23,8	33,8	35,2
16	27,2	25,2	23,0	31,9	22,5	21,2	23,6	20,5	22,1	26,2	25,2	24,9	22,5	18,4	18,4	0,0	13,4	20,5	20,5	18,4	20,0	21,4	21,3	23,3	21,3	22,3	18,1	21,6	23,1	22,3
17	28,5	27,4	26,2	28,5	25,7	23,6	22,7	21,9	24,2	28,0	21,1	27,4	22,0	23,5	21,0	15,8	0,0	23,2	24,3	17,3	23,2	21,7	24,2	27,5	23,0	24,6	19,2	26,7	27,5	25,2
18	29,2	28,7	28,4	35,0	30,5	29,7	31,2	31,9	27,7	30,1	23,5	29,0	24,5	33,0	33,5	22,0	19,5	0,0	35,0	24,6	24,9	25,5	26,6	28,3	28,4	31,2	25,4	28,9	30,5	32,4
19	28,8	28,3	29,8	37,1	32,5	35,0	34,6	34,3	28,9	29,9	23,9	28,5	22,1	26,7	38,4	24,0	23,6	35,1	0,0	28,6	26,5	27,5	27,9	29,6	28,6	32,1	28,7	30,0	30,4	32,5
20	27,9	26,6	25,2	30,4	27,3	27,5	24,6	27,2	26,1	27,4	21,2	26,4	19,8	26,7	29,2	20,4	18,7	26,9	25,8	0,0	21,1	20,0	23,7	26,6	25,4	23,8	18,8	25,5	27,1	21,3
21	25,0	21,6	27,7	29,5	26,7	26,3	29,3	29,8	25,6	22,7	21,7	19,8	10,9	25,4	30,9	21,1	23,2	25,0	26,0	20,6	0,0	11,8	16,8	20,4	17,9	28,2	20,4	15,6	30,5	27,7
22	27,9	25,7	20,9	30,5	26,7	24,2	23,7	23,0	25,1	27,1	18,6	24,7	11,8	24,8	22,7	20,0	19,9	23,4	28,4	21,4	13,4	0,0	20,8	25,8	20,4	25,1	16,1	21,9	24,7	27,0
23	27,9	27,6	21,4	30,4	28,5	26,3	27,4	24,1	27,0	26,9	25,0	27,6	21,6	26,7	24,8	22,5	26,8	28,0	28,7	22,9	18,2	23,5	0,0	18,1	19,0	25,4	23,5	24,5	23,5	26,5
24	29,4	25,7	21,0	29,1	27,4	25,1	28,1	24,6	27,8	26,0	26,0	25,2	21,1	27,8	25,6	23,8	24,8	27,1	27,2	22,1	18,4	22,0	20,7	0,0	13,8	24,4	22,3	21,7	22,6	25,2
25	26,6	24,8	21,2	33,7	25,5	24,8	28,1	24,1	28,0	24,3	23,4	24,3	21,4	27,8	25,0	21,7	19,6	27,1	24,6	22,3	19,3	22,1	18,9	17,8	0,0	25,8	22,3	19,3	22,5	26,5
26	29,9	26,4	30,5	34,4	30,7	33,5	33,6	33,5	27,6	28,0	27,8	27,7	28,9	27,7	35,7	23,4	27,4	31,2	32,1	27,3	25,9	24,2	25,6	27,6	27,2	0,0	24,7	27,3	31,8	36,2
27	28,5	27,2	25,8	30,8	28,3	24,8	24,2	23,3	25,9	28,1	20,3	27,2	21,0	25,7	23,2	20,0	20,4	26,0	28,3	19,4	21,2	17,9	23,3	27,4	21,8	25,2	0,0	26,2	27,5	27,7
28	29,9	29,7	21,2	31,7	29,5	26,9	25,8	24,7	27,8	29,7	23,7	31,3	21,3	28,3	25,2	23,3	29,3	29,7	30,1	23,0	16,6	24,5	24,4	29,9	20,8	26,0	24,1	0,0	23,8	27,7
29	29,9	29,7	31,8	32,5	30,0	32,2	32,4	32,6	28,3	26,1	26,9	30,6	18,8	29,3	33,7	24,3	27,7	30,5	30,4	26,6	31,4	23,3	22,2	25,0	21,4	31,8	26,9	23,2	0,0	32,2
30	28,5	27,7	30,2	33,6	30,0	32,9	33,1	33,2	28,6	29,2	25,1	29,6	20,8	30,0	35,0	23,9	29,6	32,2	32,5	29,3	25,6	26,8	29,1	28,3	36,2	27,0	29,5	32,2	0,0	0,0

Таблица Г.8 – Матриця значень 0,95-квантилів розподілу ШР між ТР в районі Лонгб'єн при використанні раціональних світлофорних циклів, км/год

ТР	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	0,0	50,0	50,0	50,0	50,0	49,9	50,0	48,2	50,0	50,0	50,0	50,0	48,9	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	47,3	45,7	50,0	49,8	49,5	46,3	50,0	50,0	50,0	50,0	49,9	
2	50,0	0,0	50,0	50,0	48,1	48,9	47,6	46,2	49,7	50,0	45,4	50,0	42,1	50,0	47,0	44,6	50,0	50,0	50,0	48,0	40,8	48,4	47,5	50,0	44,3	48,9	49,8	50,0	50,0	48,4	
3	50,0	50,0	0,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	49,2	45,4	48,5	50,0	50,0	49,8	50,0	44,7	47,7	50,0	50,0	50,0	45,9	49,6	40,3	40,5	43,7	40,1	50,0	46,5	41,0	50,0	50,0
4	50,0	50,0	50,0	0,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	47,6	50,0	47,3	50,0	50,0	49,1	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	
5	50,0	48,8	50,0	50,0	0,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	48,1	50,0	45,4	50,0	50,0	46,1	46,2	50,0	50,0	50,0	49,0	49,7	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	
6	49,2	48,0	50,0	50,0	50,0	0,0	50,0	50,0	46,4	49,2	43,6	47,9	46,4	50,0	50,0	42,8	44,3	50,0	50,0	47,3	47,2	48,3	46,0	47,1	46,6	50,0	47,9	47,4	50,0	50,0	
7	50,0	47,2	50,0	50,0	50,0	50,0	0,0	50,0	47,0	49,9	48,9	47,0	49,3	43,6	50,0	42,1	42,3	48,6	50,0	44,9	45,2	45,8	47,2	47,7	47,3	50,0	45,5	46,6	50,0	50,0	
8	49,1	46,8	50,0	50,0	50,0	50,0	49,7	0,0	47,1	48,5	47,8	46,6	50,0	44,9	50,0	43,2	41,9	50,0	50,0	50,0	50,0	44,8	46,3	47,2	46,9	50,0	44,6	46,2	50,0	50,0	
9	50,0	49,0	49,2	50,0	50,0	48,9	49,2	46,6	0,0	50,0	49,9	49,0	45,4	50,0	48,7	40,6	42,7	50,0	50,0	46,4	46,7	46,6	48,2	48,8	48,6	49,6	46,5	48,7	50,0	50,0	
10	50,0	47,2	50,0	50,0	49,7	48,4	50,0	47,4	50,0	0,0	50,0	46,8	47,5	50,0	49,5	49,3	50,0	50,0	49,5	46,8	43,1	48,8	49,4	49,1	42,0	48,5	48,2	50,0	47,3	49,7	
11	50,0	38,5	46,8	47,3	46,0	42,7	49,2	45,5	48,9	46,2	0,0	31,5	41,7	48,5	46,5	44,9	39,1	42,4	44,0	38,9	39,7	35,3	41,9	38,8	38,5	48,5	37,9	37,6	46,9	44,4	
12	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	48,8	47,5	45,9	49,8	50,0	39,1	0,0	38,8	50,0	46,7	43,8	50,0	50,0	50,0	47,7	38,2	47,9	46,8	50,0	43,2	49,0	50,0	50,0	50,0	48,4	
13	50,0	41,1	50,0	47,3	43,9	47,9	49,3	50,0	46,5	47,4	45,7	37,4	0,0	46,4	49,2	41,5	44,3	45,4	42,2	37,9	26,5	26,6	41,5	45,2	40,7	46,4	30,5	42,5	37,4	40,2	
14	50,0	49,1	49,9	50,0	50,0	50,0	50,0	42,2	50,0	50,0	50,0	49,1	44,9	0,0	40,0	42,0	42,2	50,0	48,2	46,4	46,4	47,5	49,0	50,0	50,0	49,5	47,2	48,7	50,0	50,0	
15	50,0	45,5	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	47,3	49,5	48,4	45,0	49,3	40,0	0,0	39,9	37,9	44,3	50,0	41,8	50,0	43,5	44,9	47,5	47,0	50,0	42,7	44,3	50,0	50,0	
16	49,0	46,3	43,3	50,0	42,5	40,7	44,1	39,7	42,0	47,5	46,2	45,8	42,6	36,9	36,8	0,0	29,5	39,8	39,7	36,9	39,0	41,0	40,8	43,7	40,8	42,2	36,4	41,3	43,4	42,2	
17	50,0	49,2	47,5	50,0	46,9	44,0	42,9	41,8	44,9	50,0	40,6	49,2	41,8	43,9	40,5	33,1	0,0	43,5	45,1	35,3	43,6	41,4	44,8	49,3	43,2	45,4	38,0	48,3	49,3	46,3	
18	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	49,6	50,0	43,9	50,0	45,3	50,0	50,0	41,9	38,4	0,0	50,0	45,5	45,9	46,7	48,1	50,0	50,0	50,0	46,5	50,0	50,0	50,0	
19	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	44,4	50,0	42,0	48,3	50,0	44,6	44,1	50,0	0,0	50,0	47,9	49,3	49,9	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	
20	49,9	48,2	46,3	50,0	49,0	49,3	45,4	49,0	47,4	49,1	40,8	47,9	38,9	48,2	50,0	39,7	37,2	48,5	47,1	0,0	40,7	39,1	44,1	48,1	46,5	44,3	37,3	46,6	48,8	40,8	
21	46,0	41,4	49,6	50,0	48,3	47,7	50,0	50,0	46,8	42,9	41,5	38,8	25,8	46,5	50,0	40,6	43,5	46,0	47,3	39,9	0,0	27,2	34,6	39,6	36,1	50,0	39,6	32,7	50,0	49,6	
22	49,9	47,0	40,4	50,0	48,3	44,9	44,2	43,3	46,1	48,8	37,2	45,6	27,1	45,7	42,8	39,1	39,0	43,8	50,0	41,0	29,6	0,0	40,1	47,0	39,6	46,1	33,6	41,8	45,5	48,7	
23	49,9	49,4	41,1	50,0	50,0	47,7	49,2	44,7	48,7	48,5	45,9	49,5	41,3	48,2	45,6	42,6	48,4	50,0	50,0	43,1	36,6	43,9	0,0	36,3	37,6	46,5	44,0	45,2	43,9	48,0	
24	50,0	46,9	40,5	50,0	49,2	46,1	50,0	45,4	49,7	47,4	47,3	46,2	40,7	49,8	46,7	44,3	45,7	48,8	49,0	42,0	36,8	41,9	40,0	0,0	30,2	45,2	42,3	41,4	42,7	46,2	
25	48,1	45,7	40,8	50,0	46,6	45,7	50,0	44,8	50,0	45,1	43,8	45,0	41,0	49,7	45,9	41,4	38,6	48,9	45,5	42,3	38,1	42,0	37,5	36,0	0,0	47,1	42,3	38,1	42,6	47,9	
26	50,0	47,8	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	49,5	50,0	49,7	49,7	50,0	49,5	50,0	43,8	49,2	50,0	50,0	49,1	47,1	44,9	46,8	49,5	49,0	0,0	45,6	49,1	50,0	50,0	
27	50,0	49,0	47,0	50,0	50,0	45,7	44,9	43,7	47,2	50,0	39,5	48,9	40,5	46,9	43,4	39,0	39,7	47,3	50,0	38,2	40,7	36,1	43,6	49,2	41,6	46,3	0,0	47,6	49,3	49,6	
28	50,0	50,0	40,7	50,0	50,0	48,6	47,1	45,5	49,7	50,0	44,3	50,0	41,0	50,0	46,2	43,7	50,0	50,0	50,0	43,3	34,2	45,3	45,1	50,0	40,1	47,4	44,8	0,0	44,3	49,6	
29	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	47,5	48,5	50,0	37,4	50,0	50,0	45,1	49,6	50,0	50,0	48,2	50,0	43,6	42,1	46,0	41,1	50,0	48,5	43,5	0,0	50,0
30	50,0	49,6	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	46,2	50,0	40,2	50,0	50,0	44,4	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	46,8	48,4	50,0	50,0	50,0	48,6	50,0	50,0	0,0	

Додаток Д

Акти впровадження результатів дослідження



Transport Engineering Consultant International JSC

Head of Traffic Forecasting Department
 Highway and Airport Engineering Division
 Transport Engineering Design Inc. (TEDI)
 Vu Duc Minh

Dear Mr Vu Duc Minh

We are writing to express our deep impression of the high quality of the developed transport model for Long Biên district in Hà Nội city.

The traffic volumes calculated in the model are of high precision and represent traffic situation during morning rush hours in the modelling area. These volumes are a good basis for developing the recommendations on traffic management in the district. The developed model provides an opportunity for quantitative and graphical analysis of the measures aimed to improve the level of service for private transport in the district and can be used as an instrument to assess decisions related to traffic control and development of the road network in the district.

Director/Head




 Nguyen The Anh


TRANSPORT ENGINEERING DESIGN INC.

278, Ton Duc Thang St., Dong Da Dist., Hanoi, Vietnam
 Tel: (84) 24 3851 4431
 Fax: (84) 24 3851 4980
 Email: tedi@tedi.com.vn

Hanoi, 10th September 2021

To: **Head of Scientific Board of Kharkiv National
 Automobile and Highway University**

Dear Sir/Madam,

When considering the method of traffic assignment in the PhD thesis of "Improvement of traffic management efficiency in transport zones of a city" proposed by Mr. Vu Duc Minh, we have concluded that the proposed approach which is based on the capacity of signalized intersections is promising.

TEDI takes into account the advantages of the developed traffic assignment methodology and plans to apply it for modelling urban street networks to get the high accuracy of traffic forecast in the soonest time.

Sincerely yours,



Pham Huu Son
 General Director

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспортних систем
Кафедра транспортних систем і логістики



АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи Ву Дик Міня «Підвищення ефективності організації дорожнього руху у транспортних районах міста», яка представляється на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 27 – «Транспорт» за спеціальністю 275 «Транспортні технології (за видами)»

Комісією у складі завідувача кафедри транспортних систем і логістики д.т.н., проф. Горбачова П.Ф., заступника завідувача кафедри транспортних систем і логістики к.т.н., доц. Любого Є.В., доцента кафедри транспортних систем і логістики к.т.н., доц. Свічинського С.В., складено акт про те, що результати дисертації Ву Дик Міня, у вигляді методики розподілу транспортних потоків в міських мережах на основі затримок транспортних засобів на перехрестях, впроваджено в навчальний процес кафедри транспортних систем і логістики при викладанні дисципліни «Моделювання транспортних систем» у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті для студентів, які навчаються за спеціальністю 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті).

Зав.каф. ТСЛ,
д.т.н., професор

П.Ф. Горбачов

заст. зав. каф. ТСЛ,
к.т.н. доцент

Є.В. Любий

к.т.н. доцент

С.В. Свічинський

Додаток Е

Список публікацій за темою дисертації
та відомості про апробацію результатів дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Лобашов А.О., Ву Дык Минь. Методика прогнозирования поведения транспортных потоков в городах. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2002. № 18. С. 77–79.

2. Макаричев А.В., Горбачёв П.Ф., Ву Дык Минь, Горбачёва Е.А. Распределение скорости движения автомобилей перед стоп-линией городского регулируемого перекрёстка. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2019. № 85. С. 107–116.

3. Ву Дык Минь, Горбачев П.Ф., Колий А.С., Свичинский С.В. Распределение потоков индивидуального автотранспорта в городских сетях на основе задержек на перекрёстках. *Автомобільний транспорт*. 2020. № 46. С. 47–62.

4. Horbachov P., Vũ Đức Minh, Svichynskiy S., Shtanko I. The Changes in Vehicle Speed Distribution Related to Complicated Traffic Conditions in Cities. *Transport, Ecology – Sustainable Development: Proceedings of the technical and scientific conference ECO Varna (Varna, 13-15 May 2021)*. Varna, 2021. P. 34–43.

5. Ву Дык Минь. Подход к оценке шума ускорения на основе средней скорости движения автомобилей. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2021. № 3(78). С. 27–35.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Ву Дык Минь, Горбачев П.Ф., Колий А.С., Свичинский С.В. Подход к распределению городских транспортных потоков на основе параметров светофорных циклов. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту*: зб. наук. праць за матеріалами VIII міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (14-15 квітня 2020 р.). Вінниця, 2020. С. 98–102.

7. Горбачев П.Ф., Ву Дык Минь, Свичинский С.В. Исследование закономерностей в значениях скорости автомобилей перед стоп-линией регулируемого пере-

крёстка. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем*: матеріали II Всеукр. наук.-техн. інтернет-конф. (9-11 листопада 2020 р.). Рівне, 2020. С. 34–36.

8. Горбачев П.Ф., Ву Дык Минь, Свичинский С.В. Методика замеров скорости движения транспортных средств перед стоп-линией регулируемого перекрёстка. *Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту*: матеріали VII міжнар. наук.-техн. конф. (11-13 листопада 2020 р.). Кременчук, 2020. С. 86–87.

9. Ву Дык Минь, Свичинский С.В. Влияние городских регулируемых перекрёстков на распределение скорости движения мотоциклов. *Напрями розвитку технологічних систем і логістики в АПВ*: матеріали III міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (22 квітня 2021 р.). Харків, 2021. С. 96–98.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

10. Новий підхід до побудови жорстких світлофорних циклів для перехресть міських вулиць: свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір / Горбачов П.Ф., Ву Дик Минь, Шевченко В.В. (Україна). № 88689; зареєстровано 20.05.2019.

11. Іванов І., Ву Дик Минь, Свичинський С. Особливості планування вибіркового обстеження мобільності в місті. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем*: матеріали Всеукр. наук.-техн. інтернет-конф. (28-29 листопада 2019 р.). Рівне, 2019. С. 53–55.

12. Горбачов П.Ф., Ву Дик Минь, І.І. Штанько. Закономірності розподілу швидкості руху транспортних засобів на міських вулицях. *Сучасні інформаційні системи*. 2020. № 4(2). С. 163–169.