

## МОДЕЛЮВАННЯ РЕГУЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ НА В'ЇЗДІ ДО ШЛЯХОПРОВОДУ У СЕРЕДОВИЩІ AnyLogic

Фірсов О. Д., Балобан А. К.

### 1. Вступ

Сучасний стан інфраструктури старих міст у першу чергу характеризується перевантаженістю автомобільних доріг. У зв'язку із неможливістю перебудови, проблема заторів та швидкості транспортних потоків може бути частково вирішена за допомогою імплементації систем керування дорожнім рухом.

За умов стратегічного значення деяких об'єктів типу мостів дуже важливо мати передбачувану та стійку пропускну спроможність для транспортного потоку. Але особливості забудови чи рельєфу на одному з берегів, які поєднані мостом, призводять до проблеми вузького горла. Наприклад у старовинному місті Прага (Чехія) прийшлося будувати тунель, бо міст впирався у холм, подібна проблема є у старого мосту через Оку в Нижньому Новгороді (Росія), міст у Запоріжжі (Україна) виходить до складної транспортної розв'язки, яка склалася історично.

Для міста Дніпро (Україна) мости, що з'єднують правий та лівий береги річки Дніпро, також мають особливе значення. Особливе місце у транспортній системі займає Амурський міст, який бере початок у одному з найстаріших районів. Але транспортний вузол, що знаходиться на правому березі річки, сприяє перевантаженості транспортного потоку на мосту, крім того накладаються додаткові фактори, пов'язані із реконструкцією сусіднього мосту.

Проблемою, що виникає при формуванні транспортних потоків до мосту, є виникнення заторів, які виникають у зв'язку із фізичним обмеженням пропускну спроможності мосту. Особливість транспортної розв'язки біля мосту полягає у тому, що розширити проїжджу частину для збільшення пропускну спроможності неможливо. Отже рішенням, що може поліпшити ситуацію, є введення автоматичного регулювання транспортних потоків.

Отже актуальним є дослідження структури та об'ємів транспортних потоків, визначення критичних точок, у яких може бути здійснене регулювання та встановлення режимів регулювання.

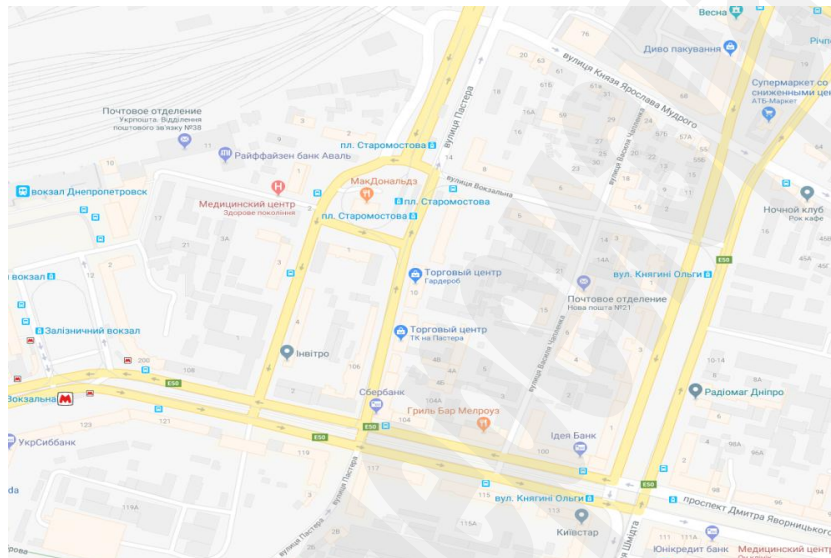
### 2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є транспортний потік та його параметри у критичному, з точки зору транспортної завантаженості, районі міста Дніпро (Україна), а саме на в'їзді до мосту, що з'єднує правий та лівий береги Дніпра.

Шляхопровід до мосту бере початок на перехресті пр. Дмитра Яворницького (колишній пр. К. Маркса) і вул. Пастера у м. Дніпро і завершується заїздом на Амурський міст. Починаючи від пр. Д. Яворницького вул. Пастера має 3 смуги руху для автомобільного транспорту в одному напрямку та по 1 колії у прямому та зворотному напрямку для руху трамваїв. На цій вулиці розташовано багато продовольчих та промислових магазинів, які користуються попитом у населення. Люди приїжджають сюди

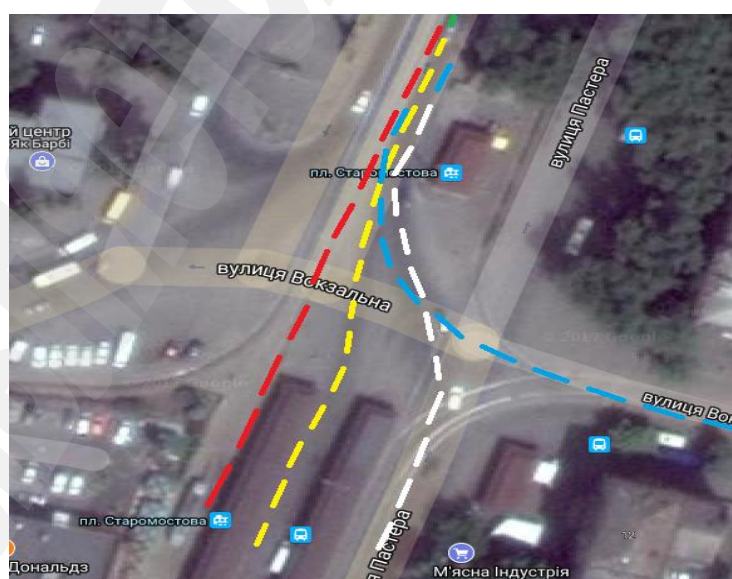
не тільки громадським, але й особистим транспортом. Тому, авто паркують у крайній правій смузі руху, яка використовується водіями під паркування, отже для моделювання будемо брати до уваги лише рух по двом смугам. На шляху слідування розташований попереджувальний знак 1.5.2, який свідчить про звуження дороги з правого боку, а також забороняючий знак 3.29, який обмежує швидкість руху до 40 км/год.

Ця дорога являється головною, на що вказує відповідний знак пріоритету. Слідуючи далі по вулиці потрапляємо на площу Старомостову (рис. 1). В околицях цієї площі знаходиться будівля McDonalds, а також зупинки приміського та міського авто транспорту та трамваїв.



**Рис. 1.** Площа Старомостова (м. Дніпро, Україна)

Заїзд на Амурський міст відбувається як трамваєм, так і автомобілями. На Амурському мості наявні по одній смузі руху для кожного виду транспорту, зазначеного вище. Заїзд відбувається як з вулиці Пастера, так і з вулиці Вокзальної (рис. 2).



**Рис. 2.** Траєкторії заїзду на міст: червоний штрих пунктир – заїзд трамваю, жовтий – заїзд міського та приміського транспорту, білий – заїзд з вул. Пастера, блакитний – з вул. Вокзальної (м. Дніпро, Україна)

Одним з найбільш проблемних місць є злиття чотирьох потоків на в'їзді до мосту. Причому потоки наповнені електро- та маршрутним транспортом. Також по мосту дозволено рухатися вантажівкам із напівпричепом. Окрім того, присутні перепади висот дорожнього полотна саме на місті злиття потоків, що призводить до зменшення швидкості.

### **3. Мета та задачі дослідження**

*Мета дослідження* – розробити пропозиції щодо упорядкування транспортного потоку на в'їзді до Амурського мосту міста Дніпро (Україна).

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Провести польові дослідження транспортних потоків, які впливають на інтенсивність руху на мосту та зібрати статистичні дані.
2. Побудувати модель транспортних потоків у середовищі AnyLogic.
3. Зробити оптимізацію моделі за критерієм мінімізації довжини заторів.

### **4. Дослідження існуючих рішень проблеми**

Робота є продовженням досліджень за тематикою оптимізації транспортної системи міста. У попередній роботі [1] описані оцінки якості маршрутів як частини системи транспортних сполучень міста. Глобальна задача ставиться як побудова системи прийняття рішень на рівні міського управління транспорту. З іншого боку польові дослідження виконуються з метою наповнення даними інтелектуальної системи керування транспортними потоками.

Аналогічні дослідження виконуються для інших великих міст [2]. У контексті виконаної роботи цікавим є дослідження представлене у [3] у зв'язку із використанням інструменту AnyLogic.

Основною метою роботи було проведення імітаційного моделювання із застосуванням пакету AnyLogic, як альтернативи реалізаціям формальних підходів, заснованих на математичних моделях [4, 5]. Огляд та оцінку формальних методів та алгоритмів, що є застосовними на теперішній час, приведено у роботах [6, 7].

Імітаційні моделі у випадку транспортних потоків та систем керування дозволяють отримати необхідні параметри в умовах максимально наближених до реальних. І головне не потребують трансляції результатів з математичної мови на мову предметної галузі. Огляд сучасних систем імітаційного моделювання є у роботі [8], більш вузьконаправлений огляд у роботі [9].

З виходом на ринок пакетів типу AnyLogic, GPSS World, ExtendSim, Arena виявляється можливість не тільки проводити імітаційне моделювання, а ще й робити його у середовищі яке максимально відповідає системі, що моделюється [10, 11].

### **5. Методи дослідження**

В табл. 1 представлені дані про розклад руху транспорту, який переміщається Амурським мостом. Як можна побачити, інтервал руху більшості з них в середньому складає 10 хв.

Таблиця 1

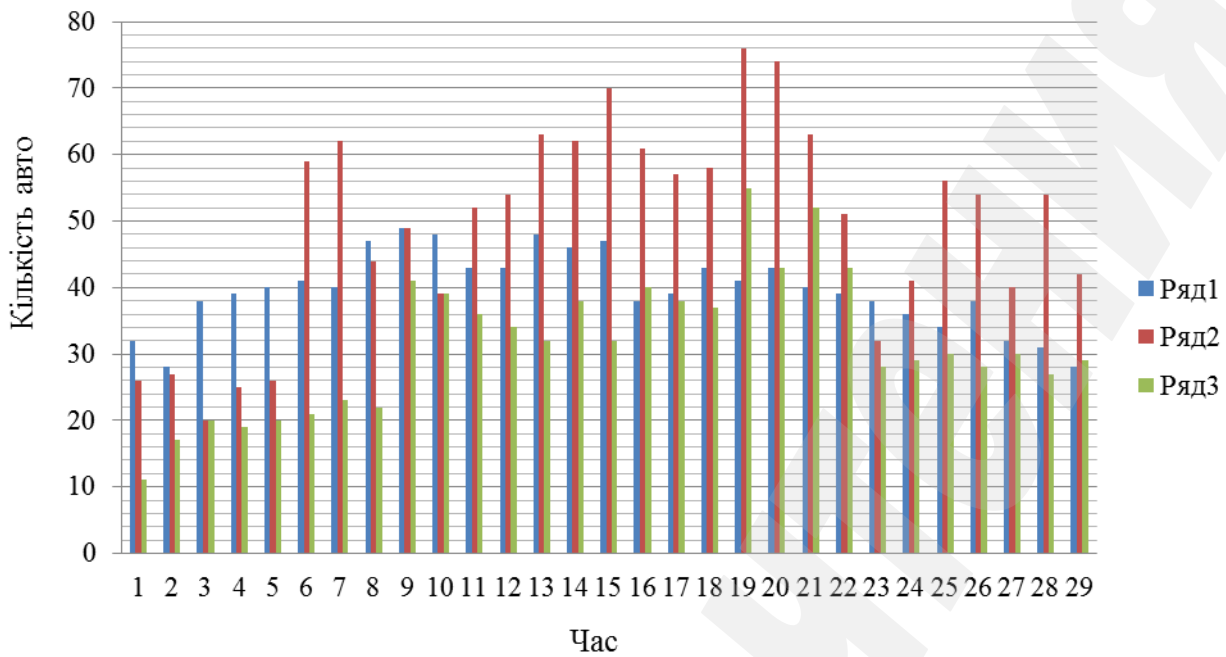
## Розклад руху громадського транспорту

Розклад руху транспорту через Амурський міст			
н/п	Вид транспорту	Номер маршруту	Інтервал руху, хв
1	Тролейбус	3	2–14
		15	58–95
		20	2–14
2	Трамвай	6	5–10
		9	5–10
3	Маршрутні автобуси	4	6–15
		27	10–30
		36	5–20
		31	4–15
		41	8–20
		59	20–30
		70	7–20
		82	60
		83	60
		99	2–10
		106	2–10
		149	2–11
		153	15–25
158	4–15		
4	Приміські автобуси	212	140–208
		230	105–210
		231	60–120
		232	115–180
		240	20–30

Завдяки розділу «Затори в Дніпропетровську» можна в режимі онлайн переглядати завантаженість на дорогах міста. Інформація надається від сервісу «Google Maps затори». Цей сервіс користується великою популярністю у водіїв Дніпра завдяки актуальній інформації. Рівень завантаженості доріг, який відображається на карті різними кольорами (зелений – пробок немає, жовтий – майже вільно, червоний – тягучка, темно-червоний – затори) допомагає всього за кілька секунд оцінити ситуацію на дорогах.

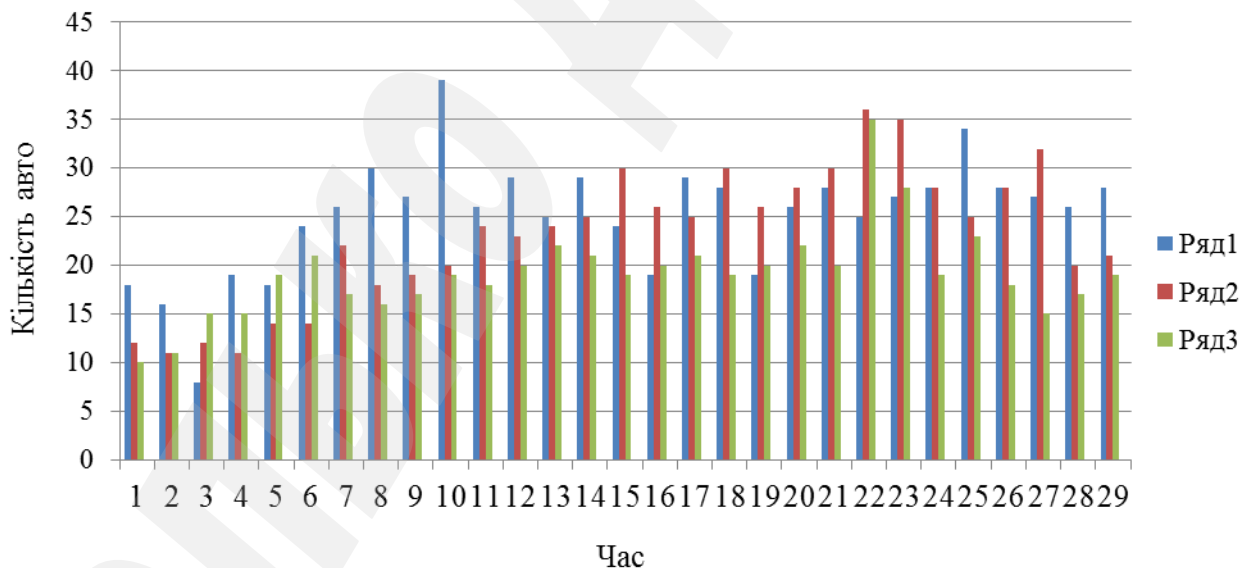
### 5.1. Рух по Амурському, Кайдакському та Південному мосту

За результатами підрахунків, з 7.00 до 9.30 на всіх трьох мостах є кілька найбільш завантажених періодів. Кількість машин зростає з 7.20 до 7.40, особливо це помітно на Кайдакському мосту. Другий пік настає з 8.00 до 9.00. У цей час збільшується навантаження на всіх трьох мостах: на Кайдакському кількість машин може досягати 70 одиниць, на Амурському – більше 40, на Південному також – від 30 до 50 авто (рис. 3).



**Рис. 3.** Інтенсивність потоку в одиницях в ранковий час з лівого на правий берег по трьом мостам, виміряна з інтервалом 10 хв., починаючи з 7 години 10 хв.: Ряд 1 – Кайдакський міст, Ряд 2 – Амурський міст, Ряд 3 – Південний міст

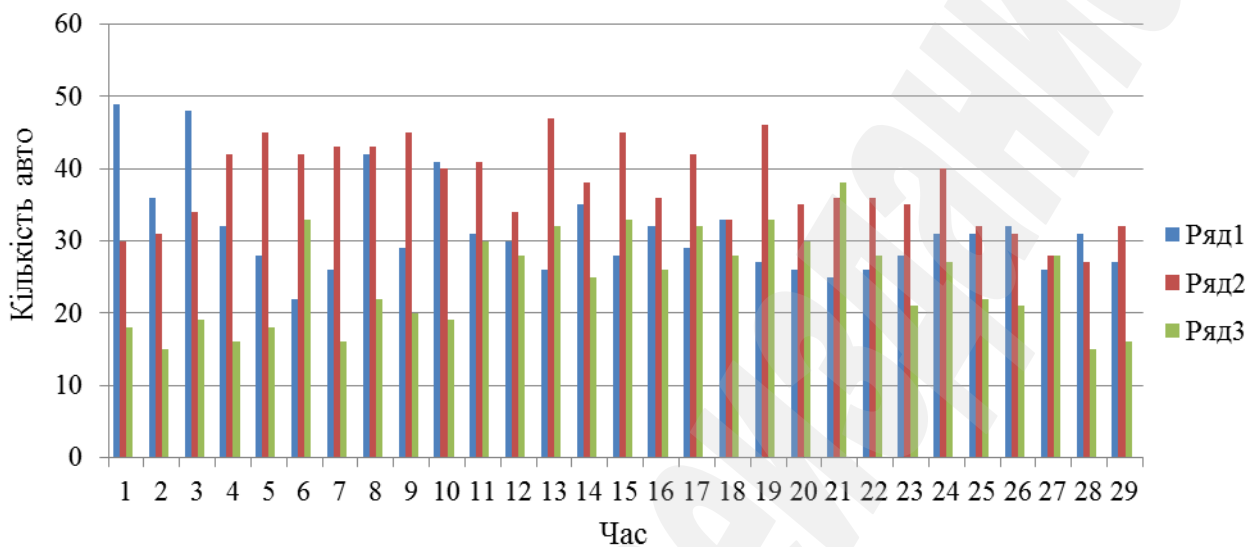
У ранковий час у напрямку з правого на лівий берег найбільш завантаженим залишається Амурський міст. Рух по ньому активізується після 7.30 і досягає, в середньому, 30 машин. Після 8.40 найбільш завантаженим стає Кайдакський міст – число автомобілів досягає 35 (рис. 4).



**Рис. 4.** Інтенсивність потоку в одиницях в ранковий час з правого на лівий берег по трьом мостам, виміряна з інтервалом 10 хв., починаючи з 7 години 10 хв.: Ряд 1 – Кайдакський міст, Ряд 2 – Амурський міст, Ряд 3 – Південний міст

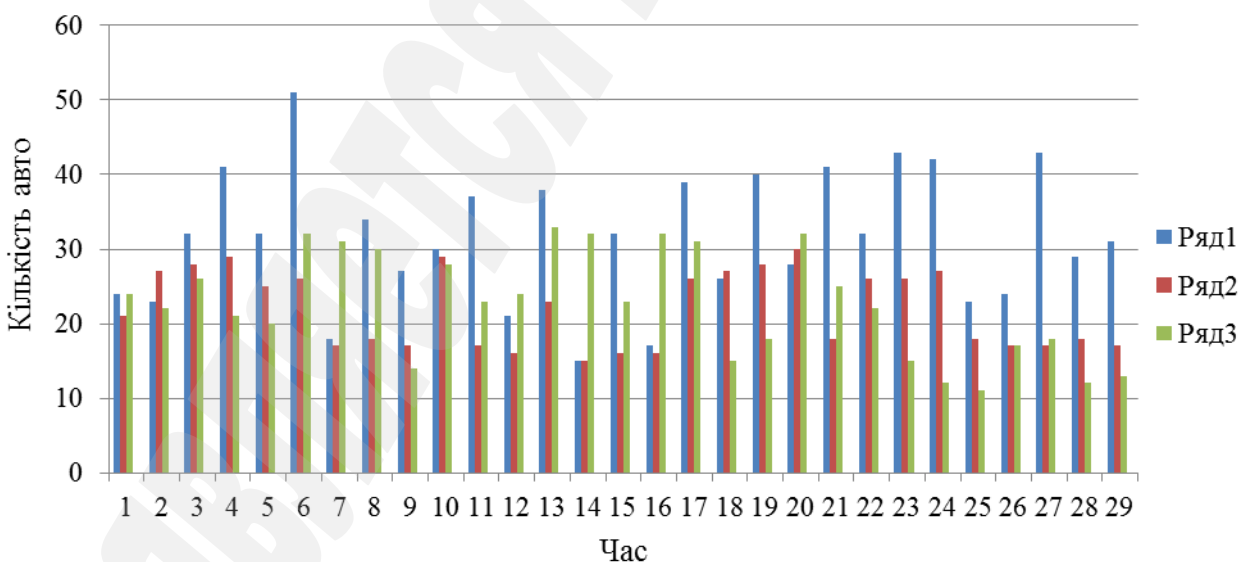
Увечері рух по мостах також завантажений. У напрямку з правого на лівий берег кількість автомобілів починає зростати. З 17.00 до 17.30 найбільш завантаженим залишається

Амурський міст – більше 45 машин. Після 17.30 більш інтенсивний рух фіксується на Кайдакському мосту. До 18.30 тут проїжджає до 50 автомобілів в одну сторону. Варто однак враховувати, що Кайдакський міст має більшу пропускну здатність, ніж Амурський (рис. 5).



**Рис. 5.** Інтенсивність потоку в одиницях у вечірній час з лівого на правий берег по трьом мостам, виміряна з інтервалом 10 хв., починаючи з 17 години 00 хв.: Ряд 1 – Кайдакський міст, Ряд 2 – Амурський міст, Ряд 3 – Південний міст

З лівого на правий берег рух ввечері теж досить завантажений. За кількістю машин лідирує Амурський міст. До 17.30 інтенсивність руху зростає до 50 автомобілів (рис. 6).

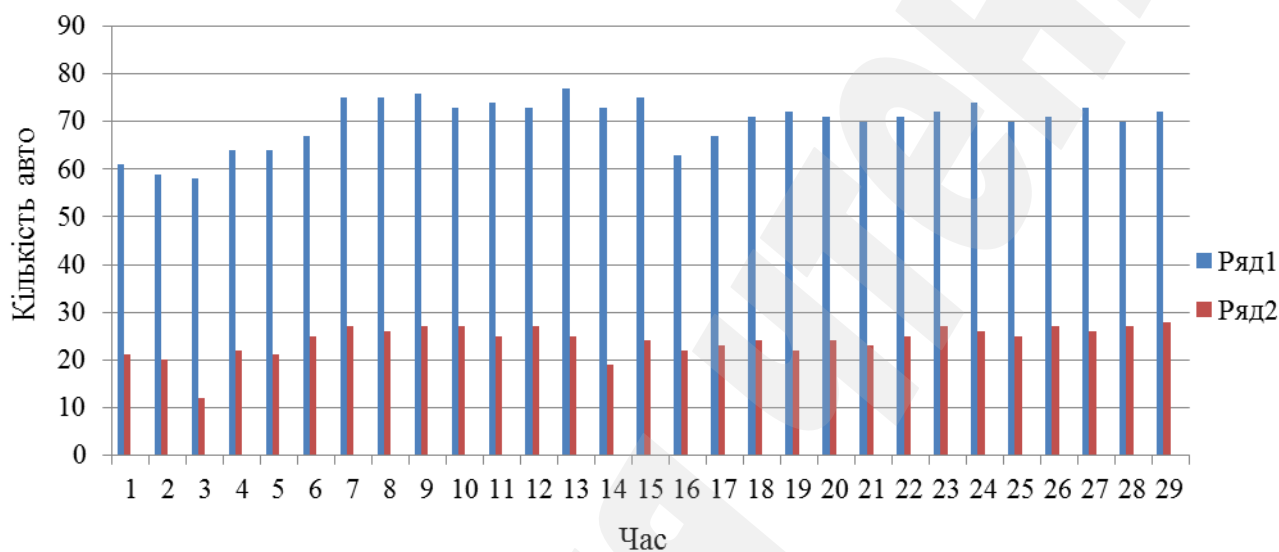


**Рис. 6.** Інтенсивність потоку в одиницях у вечірній час з правого на лівий берег по трьом мостам, виміряна з інтервалом 10 хв., починаючи з 17 години 00 хв.: Ряд 1 – Кайдакський міст, Ряд 2 – Амурський міст, Ряд 3 – Південний міст

## 5.2. Рух по Амурському мосту

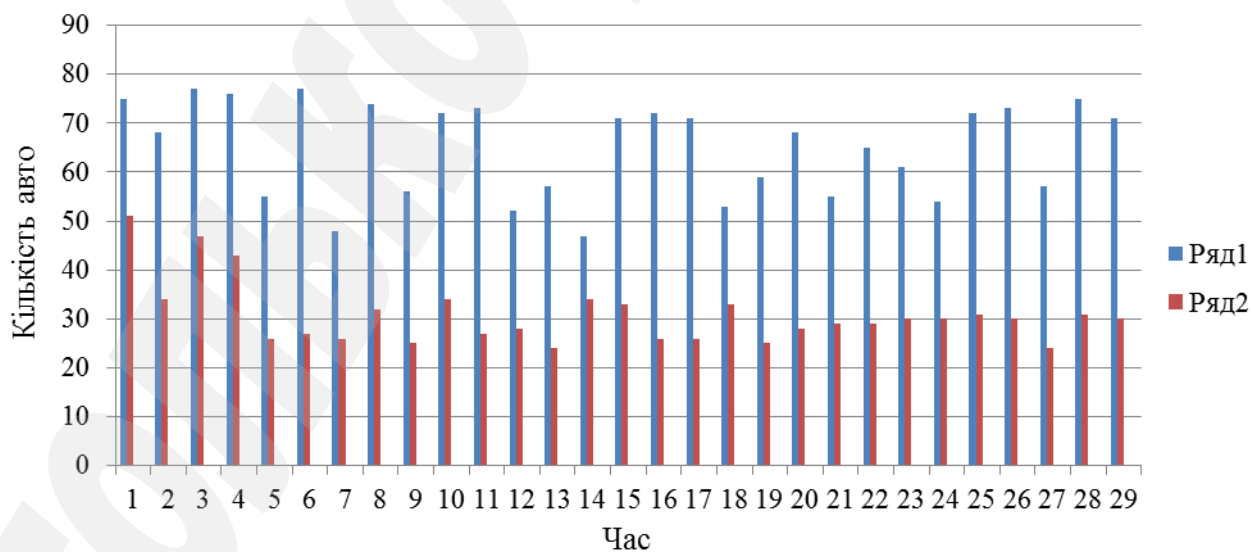
У ранковий час рух на Амурському мосту досить завантажений. Пік інтенсивності руху припадає на період з 7.30 до 8.00. У цей час кількість

автомобілів у напрямку на правий берег досягає 75 і більше. З 8.00 до 9.30 середня кількість машин залишається на рівні 65–70. В цей же час рух на лівий берег набагато менш інтенсивний. З 7.00 до 9.30 кількість автомобілів залишається на рівні 20–25 автомобілів (рис. 7).



**Рис. 7.** Інтенсивність потоку в одиницях в ранковий час по Амурському мосту, виміряна з інтервалом 10 хв., починаючи з 7 години 00 хв.: Ряд 1 – з правого на лівий берег, Ряд 2 – з лівого на правий берег

Амурський міст залишається найбільш завантаженим у вечірній час. На правий берег, в середньому, рухається 75 автомобілів. Інтенсивність руху непостійна. На лівий берег рухається 50 машин (рис. 8).



**Рис. 8.** Інтенсивність потоку в одиницях у вечірній час по Амурському мосту, виміряна з інтервалом 10 хв., починаючи з 17 години 00 хв.: Ряд 1 – з правого на лівий берег, Ряд 2 – з лівого на правий берег



Отже, з отриманої статистики можна бачити, що Амурський міст є перенавантаженим у години пік, які збільшуються пропорційно довжині заторів. З іншого боку саме заїзд на міст з правого берегу є складним, та потребує модернізації.

## 6. Результати дослідження

### 6.1. Розробка моделі транспортного потоку на заданій ділянці

Моделювання відбуватиметься на ділянці заїзду на Амурський міст з боку вулиці Пастера, Вокзальної, а також із зупинки міського та приміського транспорту.

Для побудови моделі з'ясуємо деталі моделювання. Почнемо з обмежень руху, які встановлені на дорозі. З 1 січня 2018 року швидкість руху в межах міста обмежена до 50 км/год. Також відмітимо, що рух по вулиці Пастера обмежена дорожнім знаком до 40 км/год. На вулиці Пастера встановлений знак головної дороги, а отже вулиця Вокзальна – другорядна і водії з вул. Пастера мають перевагу в заїзді на міст. Так як і перед водіями, що прямуватимуть з дороги від зупинки приміського транспорту.

Проаналізувавши дані наведені в табл. 1 можемо сказати, що близько 20 одиниць громадсько автомобільного транспорту відправляється за різними маршрутами від площі Старомостової, при чому кожен з яких має власний інтервал руху. В середньому з інтервалом 10–15 хв відправляється близько 14 авто за різними маршрутами. Отже близько 70 одиниць громадського транспорту відправлятимуться від зупинки за одну годину.

Інтенсивність руху на вулицях прийемо як «rate», тобто автомобілі генеруються за вказаною швидкістю прибуття (що еквівалентно-експоненціально розподіленому часу приходу з середнім значенням  $= 1/\text{швидкість}$ ).

Обмеження стосовно довжини авто будемо приймати такі: для громадського транспорту та невеликих вантажівок – 7–8 м, для легкових 5–6 м. Інтенсивність надходження транспорту можливо задавати різними способами: згідно інтервалу надходження, кількості одиниць за проміжок часу, згідно розкладу і т. д. Побудова моделі в середовищі Any Logic матиме наступний вигляд, який зображено на рис. 9.

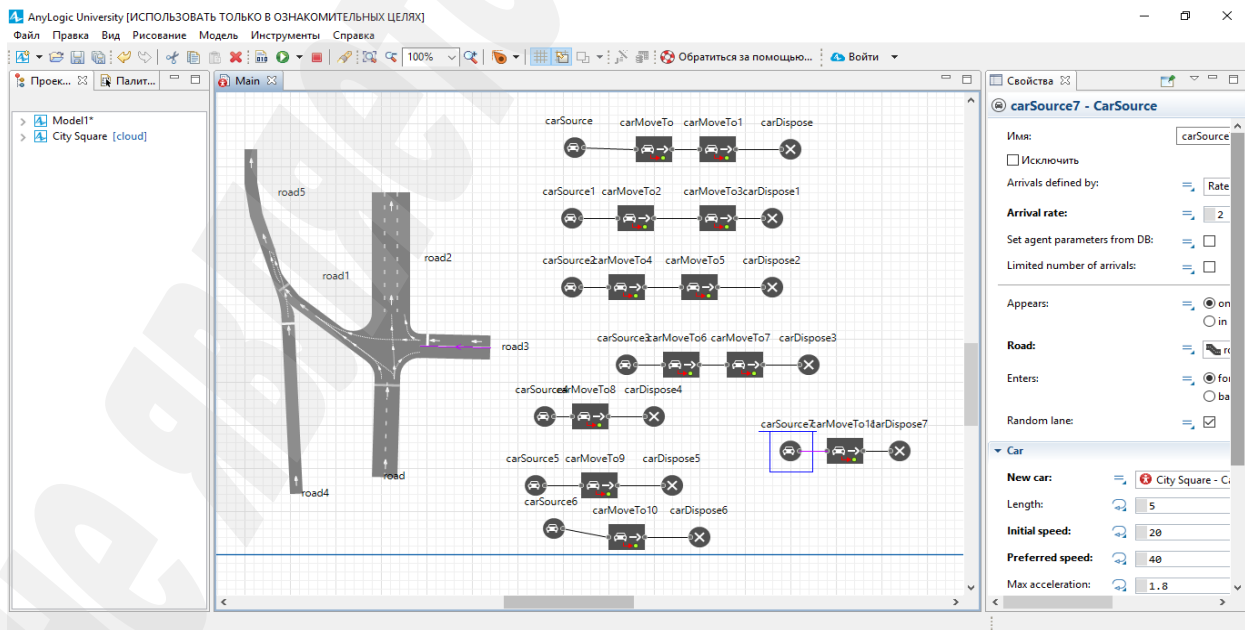


Рис. 9. Зовнішній вигляд побудови моделі



Запустивши модель і прослідкувавши за рухом транспорту можна бачити скупчення транспорту у найвужчому місці автошляху, а саме на звуженні шляхів перед заїздом на міст. Завдяки моделюванню і наочності визначено проблемне місце автошляху. Завдяки скупченню у тій зоні можливо також спостерігати і затримку у перетині перехрестя.

У табл. 2 та представлені результати експерименту. Судячи із заданих умов на міст заїжджає 884 авто за 1 годину, а перехрестя перетинає загалом 1590 авто. При інтенсивності, яка була задана, спостерігається скупчення авто. Середня швидкість, з якою авто перетинає перехрестя складає 32,22 с, мінімальна – 7,62 с, максимальна – 9 хв 47 с.

**Таблиця 2**

Результати спостережень за 1 годину

Дані за 1 годину спостережень						
Номер потоку	Номери доріг			Тип авто	Інтенсивність появи авто	Кількість авто на виході
	Поява	Рух	Зникнення			
CarSource	0	1,5	5	легковий	1600/год	442
CarSource 1	3	1,5	5	легковий	1000/год	294
CarSource 2	0	1,5	5	вантажний	100/год	64
CarSource 3	3	1,5	5	вантажний	50/год	45
CarSource 4	4	5	5	автобус	50/год	39
CarSource 5	0	2	2	легковий	500/хв	270
CarSource 6	0	3	3	легковий	500/хв	268
CarSource 7	3	2	2	легковий	500/хв	170

У момент найбільшого скупчення авто на перетині шляхів транспортний засіб (ТЗ), який рухається з вул. Вокзальна, витрачає 2 хв 36 с на заїзд на міст з моменту виїзду на перехрестя. ТЗ, що рухається з вул. Пастера витрачає 1 хв 58 с. Транспорт, який відходить з зупинки – 2 хв 28 с.

**6.2. Розробка моделі транспортного потоку із світлофорним регулюванням**

Побудуємо модель, в якій буде встановлено світлофорне регулювання. Світлофор буде встановлено на перетині улиць Вокзальної та Пастера. Заїзд на міст транспорту від зупинки не буде регулюватись за допомогою світлофора. В табл. 3 вказані режими роботи світлофора, результати представлені за годину спостережень.

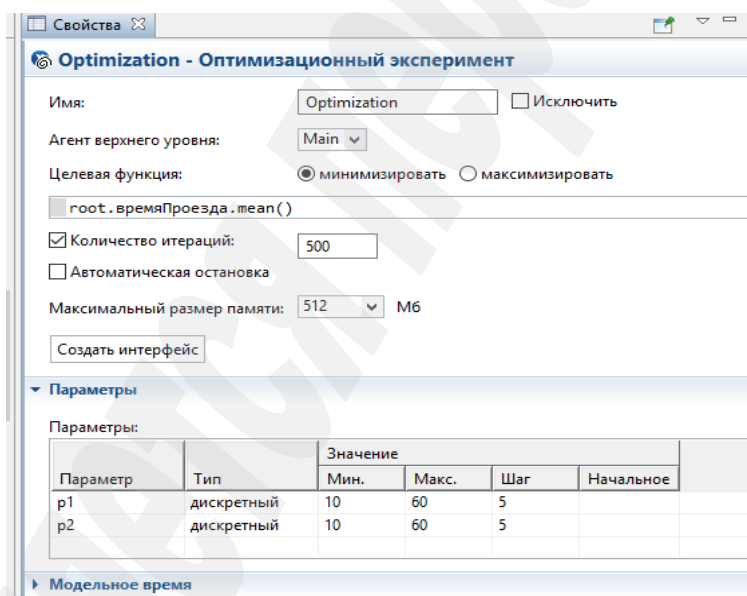
У момент найбільшого скупчення авто на перетині шляхів при режимі роботи світлофора № 3 транспортний засіб, який рухається з вул. Вокзальна, витрачає 1 хв 8 с для потрапляння на заїзд на міст з моменту виїзду на перехрестя при умові, що ТЗ стоїть першим на світлофорі в момент переключення з дозвільного сигналу на забороняючий. ТЗ, що рухається з вул. Пастера витрачає від 40 до 50 с при попередній умові. Для того, щоб підібрати оптимальний режим роботи світлофора необхідно провести експеримент і ввести умови і обмеження для моделювання (рис. 10).

Таблиця 3

## Режими роботи світлофора

1	Тривалість, с	20	5	45	5	Загальна кількість авто	Кількість авто на мості	Середня швидкість, м/с
	Стоп лінії	ч	ж	з	ж			
	0	ч	ж	з	ж	1134	643	32,7
	3	з	ж	ч	ж			
2	Тривалість, с	20	5	60	5	0	0	0
	Стоп лінії	ч	ж	з	ж			
	0	ч	ж	з	ж			
3	з	ж	ч	ж				
3	Тривалість, с	30	5	60	5	0	0	0
	Стоп лінії	ч	ж	з	ж			
	0	ч	ж	з	ж			
3	з	ж	ч	ж				

**Примітка:** літерою «ч» позначено червоний колір світлофора, «ж» – жовтий, «з» – зелений



**Рис. 10.** Умови для формування оптимізаційного експерименту

За результатами експерименту виявлено, що найкращим режимом буде, якщо перший світлофор працюватиме в дозвольному режимі 55 с, а інший – 10 с.

Встановивши умови роботи світлофору і проаналізувавши поведінку потоку, можна зазначити наступне:

1. Загальна кількість машин, що перетнула перехрестя – 1140, кількість машин, яка проїхала міст – 610.

2. Середній час перетину перехрестя – 31 с, мінімальна – 7,62 с, максимальна 2 хв 35 с.

Побудувавши дві моделі перетину перехрестя на заїзді на Амурський міст, бачимо, що при довільно заданій інтенсивності надходження авто на перехресті та на самому заїзді на міст, де дорога звужується до однієї смуги руху, утворюється затор, знижується швидкість транспортного потоку. З першої моделі видно, що час перетину перехрестя і потрапляння авто на міст коливається від 2 до 3 хв. До того ж авто, які рухаються зі сторони вул. Вокзальної повинні пропускати потік з вул. Пастера, тим самим витрачаючи більше часу для того, щоб вклинитись у загальний потік. За результатами підрахунків, проведеними у програмі з'ясувалось, що на міст заїжджає близько 884.

Інша модель передбачала врегулювання руху на перехресті за допомогою встановлення світлофора. Завдяки цьому було досягнуто зменшення часу перетину перехрестя і утворення затору на ньому. Так як потік з вул. Вокзальної не такий інтенсивний, то і дозвільний сигнал світлофору менш тривалий. Також завдяки цьому, транспорт з зупинки міського і приміського транспорту може з меншими перешкодами втиснутись в загальний потік. Тривалість перетину скоротилась до 1–1,5 хв. Скоротився максимальний час перетину перехрестя з майже 10 хв до майже 3. Найкращий режим роботи світлофору було знайдено завдяки оптимізаційному експерименту в Any Logic.

## **7. SWOT-аналіз результатів досліджень**

*Strengths.* Задачею моделювання було проаналізувати реальну ситуацію на обраній ділянці шляхопроводу та обрати раціональний метод регулювання дорожнього руху. Задача такого моделювання була спричинена ремонтом Нового мосту та перенаправленням усього транспорту особистого користування на інші перетини р. Дніпро, зокрема на Амурський міст.

Побудувавши дві моделі перетину перехрестя заїзду на Амурський міст стало зрозуміло, що при довільно заданій інтенсивності надходження авто на перехресті та на самому заїзді на міст, де дорога звужується до однієї смуги руху, утворюється затор, знижується швидкість транспортного потоку. З першої моделі видно, що час перетину перехрестя і потрапляння авто на міст коливається від 2 до 3 хвилин. До того ж авто, які рухаються зі сторони вул. Вокзальної повинні пропускати потік з вул. Пастера, тим самим витрачаючи більше часу для того, щоб вклинитись у загальний потік. За результатами підрахунків, проведеними у програмі, з'ясувалось, що на міст заїжджає близько 884 машин.

Інша модель передбачала регулювання руху на перехресті за допомогою встановлення світлофора. Завдяки цьому було досягнуто зменшення часу перетину перехрестя і організована протидія утворенню затору на ньому. Так як потік з вул. Вокзальної не такий інтенсивний, то і дозвільний сигнал світлофору менш тривалий. Також, завдяки цьому, транспорт з зупинки міського і приміського транспорту може з меншими перешкодами втиснутись в загальний потік. Тривалість перетину скоротилась до 1–1,5 хвилини. Скоротився максимальний час перетину перехрестя з майже 10 хвилин до майже 3.

Найкращий режим роботи світлофору було знайдено завдяки оптимізаційному експерименту в Any Logic.

*Weaknesses.* Проте результати моделювання мають локальний позитивний ефект на систему руху навколо мосту. Деякі елементи потоку транспорту взаємодіють з потоком з мосту, крім того дуже складною є взаємодія транспортного потоку та пішохідного, який стохастично впливає на транспортний.

*Opportunities.* Звідси виникають завдання по модернізації існуючої моделі, а саме включення до моделі потоків із зворотнім зв'язком, включення до розгляду пішохідних потоків та розширення радіусу урахування оточуючих транспортних потоків. Поступове впровадження результатів моделювання може покращити транспортну ситуацію на Амурському мості при малих фінансових затратах порівняно з переналаштуванням маршрутної сітки чи перебудовою шляхопроводів.

*Threats.* При впровадженні результатів дослідження виникають дві основні загрози. Перша – це повільне реагування комунальних служб міста, як на проблему в цілому, так і на пропозиції по її вирішенню. Це пов'язано з проблемами фінансування, взаємодії та формальними процедурами оформлення проектів. Друга – це мінливість оточуючої середовища, а саме зміни розкладів руху пасажирського транспорту, зміни у потоках пішоходів, правилах проїзду. Обидві загрози призводять до старіння налаштувань моделі.

## **8. Висновки**

1. Проведено польові дослідження транспортних потоків, які впливають на інтенсивність руху на мосту, та зібрано статистичні дані. Визначено:

- інтенсивність потоку в ранковий час з лівого на правий берег по трьом мостам;
- інтенсивність потоку у вечірній час з лівого на правий берег по трьом мостам;
- інтенсивність потоку в ранковий час з правого на лівий берег по трьом мостам;
- інтенсивність потоку у вечірній час з правого на лівий берег по трьом мостам;
- інтенсивність потоку в ранковий час з правого на лівий берег по

Амурському мосту;

– інтенсивність потоку у вечірній час з правого на лівий берег по Амурському мосту.

2. Побудовано модель транспортних потоків у середовищі AnyLogic та визначено проблемне місце автошляху, а саме частину вул. Пастера від пр. Яворницького до Площі Старомостової. Модель засновується на статистичних даних польових досліджень та представляє собою множину активних агентів, поведінка яких підстроюється. Запропоновано ввести світлофорне регулювання та проведено порівняльний обчислювальний експеримент, в якому порівнювалось функціонування системи шляхопроводів без регулювання та з регулюванням. Визначено, що наявність навіть одного світлофору суттєво зменшує затор на в'їзді до мосту.

3. Зроблено оптимізацію моделі за критерієм мінімізації довжини заторів за рахунок підбору режимів роботи світлофора. У результаті середня тривалість перетину перехрестя на в'їзді до мосту скоротилась до 1–1,5 хв. Скоротився максимальний час перетину перехрестя з майже 10 хв до майже 3 хв.

## Література

1. Firsov O. D., Biblia A. N. Proektuvannia intelektualnoi transportnoi systemy mista // Visnyk Akademii mytnoi sluzhby Ukrainy. Seriya: Tekhnichni nauky. 2015. Issue 1 (53). P. 20–31.
2. Alekseev O. P., Pronin S. V. Intellectualizatsiya transportnykh sistem v zadachakh razvitiya bol'shikh gorodov // Avtomobil'nyy transport. 2007. Issue 21. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualizatsiya-transportnyh-sistem-v-zadachah-razvitiya-bolshih-gorodov>
3. Lipenkov A. V., Lipenkova O. A., Eliseev M. E. Modelirovanie marshrutnoy seti gorodskogo passazhirskogo transporta Nizhnego Novgoroda v AnyLogic // IMMOD-2013. 2013. P. 179–183. URL: <https://www.anylogic.ru/resources/articles/modelirovanie-marshrutnoy-seti-gorodskogo-passazhirskogo-transporta/>
4. Kravchenko P. S., Omarova G. A. Mikroskopicheskie matematicheskie modeli transportnykh potokov. Analiticheskiy obzor // Problemy informatiki. 2014. Issue 1. P. 71–78.
5. Urykov V. A., Zelenina L. I. Matematicheskie modeli transportnykh potokov // Sovremennaya tekhnika i tekhnologii. 2015. Issue 6. URL: <http://technology.snauka.ru/2015/06/6051>
6. Research on the Method of Traffic Organization and Optimization Based on Dynamic Traffic Flow Model / Li S. et. al. // Discrete Dynamics in Nature and Society. 2017. Vol. 2017. P. 1–9. doi: <http://doi.org/10.1155/2017/5292616>
7. Traffic optimization of transportation terminal based on dynamic simulation technology / Sun L.-S. et. al. // Journal of Beijing University of Technology. 2012. Vol. 38, Issue 4. P. 570–574.
8. Asaf'ev G. K. Sovremennyye sistemy imitatsionnogo modelirovaniya. URL: <http://docplayer.ru/37000416-Sovremennyye-sistemy-imitacionnogo-modelirovaniya.html>
9. Bondarenko A. A. Simulation systems comparative analysis for information processing research in a globally distributed automated information systems // Programmnye produkty i sistemy. 2014. Issue 31. P. 47–52. doi: <http://doi.org/10.15827/0236-235x.107.047-052>
10. Borshhev A. V. Imitatsionnoe modelirovanie: sostoyanie oblasti na 2015 god, tendentsii i prognoz // IMMOD-2015. Moscow, 2015. URL: <https://www.anylogic.ru/resources/articles/imitatsionnoe-modelirovanie-sostoyanie-oblasti/>
11. Borshhev A. V., Karpov YU. G. Professional'nyy instrument imitatsionnogo modelirovaniya AnyLogic // Konferentsiya IMMOD-2003. 2003. URL: <https://www.anylogic.ru/resources/articles/professionalnyy-instrument-imitatsionnogo-modelirovaniya-anylogic/>