

інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

автомобілів

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення технічних засобів для ефективного регулювання
дорожнього руху на перехресті

Виконав: студент 6 курсу, групи МНм

спеціальності _____

275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Борисюк С.П.
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Гевко Б.Р.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Дзюра В.О.
(прізвище та ініціали)

В.о. завідувача
кафедри

(підпис)

Цьонь О.П.
(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о завідувача кафедри

Цьонь О.П.
(прізвище та ініціали)
« » 20__ р.
(підпис)

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня **магістр**
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю **275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)**
(шифр і назва спеціальності)
студенту **Борисюку Сергію Павловичу**
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Удосконалення технічних засобів для ефективного
регулювання дорожнього руху на перехресті**

Керівник роботи **Гевко Богдан Романович, к.е.н., асистент**
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «**11**» **11** 2022 року № **4/7-896**

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

Інтенсивність руху за першою фазою регулювання 720 авт/год; за другою фазою 320 авт/год; швидкість наближення до перехрестя 50 км/год і 48 км/год відповідно; покриття дорожньої мережі забезпечує коефіцієнт сцеплення 0,48.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Реферат. Вступ. 1. Теоретичний розділ (аналіз вихідних даних для удосконалення світлофорної сигналізації; розрахунок оптимальної тривалості двофазного світлофорного циклу; обґрунтування теми КРМ). 2. Аналітико-дослідницький розділ (дослідження параметрів двофазного регулювання руху на перехресті; розрахунок тривалості циклу світлофорного регулювання; графічна інтерпретація отриманих результатів).

3. Проектно-рекомендаційний розділ (обґрунтування тривалості перехідних інтервалів; визначення часу затримок автомобілів на світлофорі; розробка математичної моделі циклу світлофорного регулювання на перетині міських вулиць).

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із найменувань. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи становить сторінок, рисунків і таблиць.

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи: ефективність регулювання дорожнього руху на перехресті за рахунок удосконалення технічних засобів.

Для досягнення мети дослідження було поставлено та вирішено такі завдання:

- проаналізовано дані для удосконалення світлофорної сигналізації;
- виконано розрахунок оптимальної тривалості двофазного світлофорного циклу;
- проведено дослідження параметрів двофазного регулювання руху на перехресті;
- виконано розрахунок тривалості циклу світлофорного регулювання;
- обґрунтовано тривалість перехідних інтервалів;
- визначено час затримок автомобілів на світлофорі;
- розроблено математичну модель циклу світлофорного регулювання на перетині міських вулиць.

Об'єкт дослідження – регулювання дорожнього руху на перехресті.

Предмет дослідження – обґрунтування параметрів двофазного регулювання руху на перехресті.

Ключові слова: цикл, світлофорна сигналізація, фаза, регулювання, інтервал, перехрестя.

Зміст

ВСТУП.....	5
ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ	7
1.1 Аналіз вихідних даних для удосконалення світлофорної сигналізації	7
1.2 Розрахунок оптимальної тривалості двофазного світлофорного циклу	8
1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи магістра	12
АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	14
2.1 Дослідження параметрів двофазного регулювання руху на перехресті... ..	14
2.2 Розрахунок тривалості циклу світлофорного регулювання.....	16
2.3 Виконання розрахунку тривалості циклів фаз для решту автомобілів	23
2.4 Графічна інтерпретація отриманих результатів	34
ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ	39
3.1 Обґрунтування тривалості перехідних інтервалів.....	39
3.2 Визначення часу затримок автомобілів на світлофорі.....	41
3.3 Розробка математичної моделі циклу світлофорного регулювання на перетині міських вулиць	43
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	46
4.1 Фінансування охорони праці. Основні положення законодавства про працю	46
4.2 Розробка заходів підвищення безпеки руху.....	49
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	55

ВСТУП

Збільшення кількості транспорту на дорогах України серйозно ускладнило організацію дорожнього руху. Це позначається саме на безпеці руху, оскільки це є одним із ключовим критерії, що визначає можливість такого руху. Що стосується самої організації руху, то вона вимагає постійного удосконалення. Проблеми, що зараз виникають, в певній мірі, є наслідком планування міст, яке відбулося кілька десятиліть тому. Ми рухаємося зараз вулицями, які не розраховані на таку кількість транспорту, яка ними на сьогоднішній день курсує, тобто їх пропускну здатність є незадовільно. Це не можна говорити про всі вулиці міста оскільки є нові мікрорайони, де такої проблеми там немає. Справедливо можна спостерігати, що на одних вулицях виникають величезні затори, а по інших вулицях можна вільно рухатися. Що стосується пропускну здатності вуличної мережі, то тут потрібно вже констатувати тільки факти, оскільки не завжди є можливість перебудувати. Тому інженери-транспортники мають завдання з наявних умов так організувати дорожній рух, щоб забезпечити максимальну пропускну здатність транспорту конкретною дорогою.

Для успішної організації дорожнього руху, особливо на складних перехрестях, потрібно виконувати ряд спостережень за потоками транспорту та пішоходів, щоб мати відповідну інформацію, яка ляже в основу нового проекту.

Підходи до організації дорожнього руху, які застосовувалися кілька років тому, вже можуть бути непридатними для застосування в теперішній час. Крім того, неможливо застосувати якесь одне конкретне рішення і воно буде справедливе на всі часи. Кожного разу потрібно вносити корективи з метою, щоб вдосконалити організацію дорожнього руху на досліджуваній ділянці дороги, де наприклад ще вчора не було проблем. Вихідні дані до проектування є досить мінливими і потрібно оперативно реагувати на виникаючі зміни

При розробці нових проектів, які покращують організації дорожнього руху, наприклад на конкретному перехресті, потрібно застосовувати технічні засоби знати, які за свої параметри здатні адаптовуватись до конкретних умов, які настали. Як варіант вдосконалення є застосування сучасної світлофорної сигналізації.

Для встановлення світлофорної сигналізації потрібно мати ряд вихідних даних, що стосується кількості та напрямку руху, а також їх циклічності на заданому перехресті. Це дуже важливі вихідні параметри, які дозволять спроектувати цикли роботи світлофора. Причому, як правило, на перехрестях застосовують багатосекційні світлофори, що регулюють дорожній рух одночасно на кількох полосах руху. Крім того, потрібно зважати на те, що вулицею крім автотранспорту та іншого транспорту рухаються ще й пішоходи. Тому, виконуючи різного роду проекти, потрібно забезпечити інтереси, які задовольнятимуть всіх учасників руху.

ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз вихідних даних для удосконалення світлофорної сигналізації

Розглянемо досліджуване перехрестя, на якому вже встановлена світлофорна сигналізація, але цикли секцій незбалансовані та не забезпечують максимальної пропускну здатності автомобілів та пішоходів. Через те тут часто виникають затори, що провокують значне збільшення часу на переміщення та негативний ефект щодо викидів транспорту у атмосферу, що погіршує екологічну ситуацію в місці.

Світлофор має вертикальну та горизонтальну секції для регулювання рух. Спостереженнями було встановлено наступні дані, які будуть аналізуватися і на основі яких будуть зроблені пропозиції щодо вдосконалення організації руху на даному перехресті.

Розглянемо окремо вертикальну секцію, фаза №1.

За проведеними спостереженнями було встановлено, що загальна інтенсивність руху тут є в межах 720 автомобілів на годину.

З них виконують лівий поворот 18 % всього транспорту. Якщо говорити про тихохідний транспорт, то його налічується 15 % і рухаються вони у прямому напрямку. Якщо аналізувати потік автомобілів, що повертають ліворуч, то із загального потоку можна також виділити 15 % тихохідного транспорту.

Рух транспорту здійснюється вулицею, що має ширину приблизно 8 м. При наближення до перехрестя зафіксовано швидкість транспортного потоку складає приблизно 50 км/год.

Визначений коефіцієнт зчеплення коліс з дорожнім покриттям складає 0,48.

Аналогічним чином проведено спостереження за рухом транспортного потоку, що рухається за горизонтальною секцією, фаза 2.

Тут була зафіксована загальна інтенсивність рух в межах 320 автомобілів протягом години. З них лівий поворот здійснювали приблизно 18 % всього транспорту. Серед транспортного потоку у прямому напрямку рухалися приблизно 20 % автомобілів, що віднесені до тихохідного транспорту. За аналізом транспортного потоку, який рухався ліворуч було зафіксовано 10 % тихохідних автомобілів. Ширина вулиці у напрямку руху горизонтальної секції складає 8,2 м. Швидкість підходу транспорту до перехрестя складала 48 км/год. Покриття дорожньої мережі забезпечує коефіцієнт зчеплення біля 0,48.

1.2 Розрахунок оптимальної тривалості двофазного світлофорного циклу

Звичайно, що при русі у змішаному транспортному потоці практично завжди є додаткові затрати часу через маневрування іншими учасниками руху, кому з них потрібно надавати перевагу. Інтенсивність такого руху потрібно знати, щоб можна було правильно вплинути на процес.

Одним із таких прикладів додаткового затримування часу при русі на перехрестях це є надання переваги учасникам руху, які виконують лівий поворот та мусять запинися, оскільки мусять пропустити транспорт, що рухається у прямому напрямку.

Особлива є затримка, що цей маневр здійснює тихохідний транспорт, або такий транспорт рухається у зустрічному напрямку.

Спостереження показують, що рух зустрічного потоку транспорту затримується як мінімум на 1,3 с.

У часовому вираженні для автомобіля, що виконує лівий поворот еквівалент складає $(2,1+1,3)/2,1=1,6$ автомобіля у порівнянні з автомобілем, що рухається прямому напрямку.

Іншим чинником затримки автомобілів на перехресті є середній інтервал часу, за який водій реагує на зміну сигналу світлофора та рушає з місця. Цей час складає приблизно 2,1 с.

Якщо розглядати вантажні автомобілі чи автобуси, то цей транспорт у порівнянні з легковими автомобілями затрачає ще в 1,5 рази більше часу на початок руху.

Розрахуємо інтенсивності руху відповідно до фаз.

Розглянемо фазу 1 вертикального напрямку

$$N_{зaз1} = (720 - 130 - 89) + (130 - 20)1,6 + 89 \times \\ \times 1,5 + 20 \cdot 2,4 = 858,5 \text{ од./год.} \quad (1.1)$$

Те саме для фаза 2

$$N_{зaз2} = (320 - 58 - 52) + (58 - 5)1,6 + \\ + 32 \cdot 1,5 + 5 \cdot 2,4 = 384,8 \text{ од./год.} \quad (1.2)$$

Визначивши середній інтервал прибуття автомобілів, можна встановити їх кількість, що прибудуть до світлофора протягом циклу не зважаючи на інтервал фази

$$n_1 = \frac{C}{A}, \quad (1.3)$$

де C – тривалість циклу, с; A – середній інтервал прибуття автомобілів, с.

Кількісне значення черги автомобілів біля світлофора.

$$n = \frac{R + 4,75}{A - 2,1}. \quad (1.4)$$

Інтенсивність руху і середній інтервал прибуття автомобілів взаємопов'язані

$$A = 3600 / N, \quad (1.5)$$

тут N – інтенсивність руху автомобілів протягом години.

Звідси впливає час циклу для двофазного регулювання руху

$$C = \frac{34200}{3600 - (N_1 + N_2) \cdot 2,1}. \quad (1.6)$$

Якщо розглядати регульоване перехрестя, то інтенсивність прибуття автомобілів протягом циклу становитиме

$$a = \frac{N \cdot C}{3600}. \quad (1.7)$$

Дозволений сигнал світлофора матиме тривалість

$$G = a \cdot D_k + K. \quad (1.8)$$

Якщо врахувати, що $K = 4,75$, а час початку руху $D_k = 2,1$ с, тоді при таких тривалість фази становитиме

$$G = a \cdot 4,75 + 2,1. \quad (1.9)$$

Наведені міркування справедливі у тому випадку, коли автомобілі рівномірно та через розрахункові інтервали прибувають до регульованого перехрестя, але в дійсності цей процес носить зовсім випадковий характер і тоді потрібно застосовувати ймовірнісні підходи, наприклад розподіл Пуассона, яки представимо залежністю

$$P_x = \frac{e^{-a} a^x}{x!}, \quad (1.10)$$

де a – середнє число автомобілів, які прибувають до перехрестя протягом циклу;

x – імовірна кількість автомобілів, які прибувають до перехрестя протягом циклу;

P_x – імовірність прибуття до перехрестя автомобілів протягом циклу.

Звідси випливає, що розрахований середній інтервал зеленого світла, може відрізнятись від дійсного в ту чи іншу сторону.

Пропускна здатність перехресті збільшується, якщо тривалість дозволеного сигналу світлофора є збільшеною.

Для ймовірнісного розподілу Пуассона для розташування автомобілів на дорозі можна визначити імовірність прибуття автомобілів до світлофора протягом циклу.

Як правило, цю кількість встановлюють у відсотковому відношенні від загальної кількості транспорту.

Розрахунок простий – при відповідному числу автомобілів пропускній здатності перехрестя для окремого циклу проходять без заторів, решту $(100 - P_x)\%$ циклів прибуватиме більше число автомобілів, що будуть утворювати затори перед регульованим перехрестям. Їх потрібно вже враховувати на пропуск за наступним циклом світлофора.

Практика показує, що 30–40% циклів не забезпечать проходження більшої кількості автомобілів, а тому це наштовхує на використання

інтелектуальних систем, які б могли змінювати тривалість циклу в залежності від скупчення автомобілів.

Якщо ж такі системи поки неможна використати, то варто дещо збільшити цикл на всіх випадках і тоді значно зростає пропускна здатність перехрестя. Практика показує, що ймовірність P є достатньою при 95% циклів, які забезпечують пропуск автомобілів без затримок, а для 5% циклів можливі затримки. Тоді таку ймовірність варто приймати до розрахунків.

1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи магістра

Складна ситуація на дорогах спонукає інженерів-транспортників вишукувати оптимальних шляхів організації дорожнього руху на складних перехрестях. Саме від організації дорожнього руху залежить, перш за все, безпека руху, а це є найголовнішим в нашому житті. Безпека людини завжди має бути на першому місці попри різні економічні вигоди та доцільності. Звичайно, що не потрібно вдаватися до крайностей у пошуку рішень, що стосується організації дорожнього руху. Тут маємо на увазі, що можна запропонувати таке рішення перетину перехрестя, при якому буде забезпечена абсолютна безпека руху на ньому, але пропускна здатність самого перехрестя буде мінімальною. Кожне рішення має бути компромісним, але переважати має безпека. Тобто потрібно прагнути до таких проектів, які дозволяють забезпечити максимальну пропускну здатність перехрестя при максимальному забезпеченні безпеки руху. І саме такі питання є ключовими при вдосконаленні руху на заданому перехресті. Тому в даній кваліфікаційній роботі розглянуто ряд питань, які направлені на покращення організації дорожнього руху при використанні світлофорного регулювання.

Навіть вже існуючі технічні засоби, що встановлені на перехресті, можуть мати певні недоліки, оскільки дуже часто міняється вихідна інформація щодо транспортних потоків та інтенсивності руху на ньому. Приблизно оптимальне рішення, яке було ефективним для розглядуваного перехрестя ще вчора, сьогодні може бути вже не ефективним. Тому, якщо встановлені технічні засоби регулювання дорожнього руху, то першим кроком є спроба вдосконалити процес регулювання руху саме цими технічними засобами. Якщо вдасться досягнути позитивного ефекту, то зміна проекту пройде з мінімальними затратами. Якщо ж виявиться, що при наявних технічних засобах досягнути бажаного ефекту не можливо, тоді буде необхідність їх замінити більш ефективними.

Саме таким питанням дослідження руху на перехресті з використанням технічних засобів світлофорного регулювання руху присвячена дана кваліфікаційна робота, виходячи з цього сформульована тема кваліфікаційної роботи.

Це зумовило вибір теми кваліфікаційної роботи під назвою «Удосконалення технічних засобів для ефективного регулювання дорожнього руху на перехресті»

АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Дослідження параметрів двофазного регулювання руху на перехресті

Якщо розглядати перехрестя, де інтенсивність руху у пікові години становить 858,5 од./год у вертикальному напрямі та 384,8 од./год у горизонтальному напрямі, то при такій інтенсивності руху транспортних засобів потрібно встановлювати двофазне регулювання дорожнього руху.

Тривалість циклу може бути змінною величиною у залежності від інтенсивності руху на перехресті.

При інтенсивності руху 858,5 од./год у вертикальному напрямі та 384,8 од./год у горизонтальному напрямі на перехресті тривалість циклу світлофорного регулювання буде становити

$$C = \frac{34200}{3600 - (858,5 + 384,8) \cdot 2,1} = 34,58 \text{ с}$$

За залежністю 2.1 визначаємо середню кількість автомобілів, що прибувають при першій фазі регулювання

$$a_1 = \frac{N_1 \cdot C}{3600} \tag{2.1}$$

Після підстановки чисельного значення отримаємо наступну кількість автомобілів

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 34,58}{3600} = 8,25 \text{ авт.}$$

Аналогічно виконуємо розрахунок автомобілів для другої фази регулювання

$$a_2 = \frac{N_2 \cdot C}{3600} \quad (2.2)$$

Отримуємо кількість автомобілів, що становить

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 34,58}{3600} = 3,70 \text{ авт.}$$

Далі визначаємо тривалість інтервалів зеленого світла для першої фази регулювання:

$$G_1 = a_1 \cdot 2,1 + 4,75 = 8,25 \cdot 2,1 + 4,75 = 22,07 \text{ с.}$$

Аналогічно для другої фази

$$G_2 = a_2 \cdot 2,1 + 4,75 = 3,70 \cdot 2,1 + 4,75 = 12,51 \text{ с.}$$

Після цього досліджуємо ймовірність пропуску транспортних засобів без затримок для першої фази:

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-8,25} \cdot 8,25^6}{9!} \cdot 100 = 87,26\%$$

Виконання ймовірності пропуску для другої фази

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-3,70} \cdot 3,70^4}{4!} \cdot 100 = 80,70\%$$

2.2 Розрахунок тривалості циклу світлофорного регулювання

Після цього розглянемо тривалість циклу світлофорного регулювання збільшуючи кількість транспортних засобів у кожній фазі регулювання на одну одиницю.

У першій фазі кількість автомобілів буде становити 10 одиниць.

$$x_1 = x_1 + 1 = 9 + 1 = 10 \text{ авт.}$$

В результаті час інтервалу зеленого світла у цій же фазі буде наступним:

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 22,07 + 2,1 = 24,17 \text{ с.}$$

Аналогічно прораховуємо кількість автомобілів для другої фази регулювання збільшуючи на одну одиницю

$$x_2 = x_2 + 1 = 4 + 1 = 5 \text{ авт.}$$

Час інтервалу зеленого світла становитиме:

$$G_2 = G_2 \cdot 2,1 = 12,51 + 2,1 = 14,61 \text{ с.}$$

У результаті цикл регулювання буде тривати:

$$C = G_1 + G_2 = 24,17 + 14,61 = 38,78 \text{ с.}$$

Виконуємо розрахунок інтенсивності прибуття транспортного засобу за цикл до регульованого перетину у першій фазі:

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 38,78}{3600} = 9,25 \text{ авт.}$$

Для другої фази

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 38,78}{3600} = 4,14 \text{ авт.}$$

Далі визначаємо ймовірність пропуску автомобілів без затримок протягом першої фази

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-9,25} \cdot 9,25^{10}}{10!} \cdot 100 = 87,86\%$$

Для другої фази

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-4,14} \cdot 4,14^5}{5!} \cdot 100 = 83,85\%$$

Аналогічні розрахунки виконуємо додаючи по одному транспортному засобу до кожної фази регулювання:

$$x_1 = x_1 + 1 = 10 + 1 = 11 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 24,17 + 2,1 = 26,27 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 + 1 = 5 + 1 = 6 \text{ авт.}$$

$$G_2 = G_2 \cdot 2,1 = 14,61 + 2,1 = 16,71 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 26,27 + 14,61 = 42,98 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 42,98}{3600} = 10,25 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 42,98}{3600} = 4,59 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-10,25} \cdot 10,25^{11}}{11!} \cdot 100 = 88,38\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-4,59} \cdot 4,59^6}{6!} \cdot 100 = 86,80\%$$

Розрахунок, коли кількість автомобілів у першій фазі становить 12 автомобілів і у другій фазі 7 транспортних засобів.

$$x_1 = x_1 + 1 = 11 + 1 = 12 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 26,27 + 2,1 = 28,37 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 + 1 = 6 + 1 = 7 \text{ авт.}$$

$$G_2 = G_2 \cdot 2,1 = 16,71 + 2,1 = 18,81 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 28,37 + 18,81 = 47,18 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 47,18}{3600} = 11,25 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 47,18}{3600} = 5,04 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-11,25} \cdot 11,25^{12}}{12!} \cdot 100 = 88,84\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-5,04} \cdot 5,04^7}{7!} \cdot 100 = 89,38\%$$

13 автомобілів у першій фазі регулювання та 8 у другій:

$$x_1 = x_1 + 1 = 12 + 1 = 13 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 28,37 + 2,1 = 30,47 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 + 1 = 7 + 1 = 8 \text{ авт.}$$

$$G_2 = G_2 \cdot 2,1 = 18,81 + 2,1 = 20,91 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 30,47 + 20,91 = 51,38 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 51,38}{3600} = 12,25 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 51,38}{3600} = 5,49 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-12,25} \cdot 12,25^{13}}{13!} \cdot 100 = 89,25\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-5,49} \cdot 5,49^8}{8!} \cdot 100 = 91,54\%$$

14 автомобілів у першій фазі регулювання та 9 у другій:

$$x_1 = x_1 + 1 = 13 + 1 = 14 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 30,47 + 2,1 = 32,57 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 + 1 = 8 + 1 = 9 \text{ авт.}$$

$$G_2 = G_2 \cdot 2,1 = 20,91 + 2,1 = 23,01 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 32,57 + 23,01 = 55,58 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 55,58}{3600} = 13,25 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 55,58}{3600} = 5,94 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-13,25} \cdot 13,25^{14}}{14!} \cdot 100 = 89,62\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-5,94} \cdot 5,94^9}{9!} \cdot 100 = 93,32\%$$

15 автомобілів у першій фазі регулювання та 10 у другій фазі регулювання:

$$x_1 = x_1 + 1 = 14 + 1 = 15 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 32,57 + 2,1 = 34,67 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 + 1 = 9 + 1 = 10 \text{ авт.}$$

$$G_2 = G_2 \cdot 2,1 = 23,01 + 2,1 = 25,11 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 34,67 + 24,11 = 59,78 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 59,78}{3600} = 14,26 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 59,78}{3600} = 6,39 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-14,26} \cdot 14,26^{15}}{15!} \cdot 100 = 89,95\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-6,39} \cdot 6,39^{10}}{10!} \cdot 100 = 94,75\%$$

16 автомобілів у першій фазі регулювання та 11 у другій фазі регулювання:

$$x_1 = x_1 + 1 = 15 + 1 = 16 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 34,67 + 2,1 = 36,77 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 + 1 = 10 + 1 = 11 \text{ авт.}$$

$$G_2 = G_2 \cdot 2,1 = 25,11 + 2,1 = 27,21 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 36,77 + 27,21 = 63,98 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 63,98}{3600} = 15,26 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 63,98}{3600} = 6,84 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-15,26} \cdot 15,26^{16}}{16!} \cdot 100 = 90,25\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-6,84} \cdot 6,84^{10}}{10!} \cdot 100 = 95,89\%$$

17 автомобілів у першій фазі регулювання та 11 у другій:

$$x_1 = x_1 + 1 = 16 + 1 = 17 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 36,77 + 2,1 = 38,87 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 = 11 \text{ авт.}$$

$$G_2 = G_2 = 27,21 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 38,87 + 27,21 = 66,08 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 66,08}{3600} = 15,76 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 66,08}{3600} = 7,06 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-15,76} \cdot 15,76^{17}}{17!} \cdot 100 = 90,82\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-7,06} \cdot 7,06^{11}}{11!} \cdot 100 = 95,32\%$$

2.3 Виконання розрахунку тривалості циклів фаз для решту автомобілів

Виконання розрахунку, коли кількість автомобілів у першій фазі становить 18 і у другій фазі 11 транспортних засобів.

$$x_1 = x_1 + 1 = 17 + 1 = 18 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 38,87 + 2,1 = 40,97 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 = 11 \text{ авт.}$$

$$G_2 = G_2 = 27,21 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 40,97 + 27,21 = 68,18 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 68,18}{3600} = 16,26 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 68,18}{3600} = 7,29 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-16,26} \cdot 16,26^{18}}{18!} \cdot 100 = 91,45\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-7,29} \cdot 7,29^{11}}{11!} \cdot 100 = 94,72\%$$

Виконання розрахунку, коли кількість автомобілів у першій фазі становить 19 і у другій фазі 12 одиниць.

$$x_1 = x_1 + 1 = 18 + 1 = 19 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 40,97 + 2,1 = 43,07 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 + 1 = 11 + 1 = 12 \text{ авт.}$$

$$G_2 = G_2 + 2,1 = 27,21 + 2,1 = 29,31 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 43,07 + 29,31 = 72,38 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 72,38}{3600} = 17,26 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 72,38}{3600} = 7,74 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-17,26} \cdot 17,26^{19}}{19!} \cdot 100 = 91,63\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-7,74} \cdot 7,74^{12}}{12!} \cdot 100 = 95,28\%$$

Розрахунку, коли кількість автомобілів у першій фазі становить 20 і у другій фазі 12 одиниць.

$$x_1 = x_1 + 1 = 19 + 1 = 20 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 43,07 + 2,1 = 45,17 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 = 12 \text{ авт.}$$

$$G_2 = G_2 = 29,31 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 45,17 + 29,31 = 74,48 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 74,48}{3600} = 17,76 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 74,48}{3600} = 7,96 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-17,26} \cdot 17,76^{20}}{20!} \cdot 100 = 92,24\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-7,96} \cdot 7,96^{12}}{12!} \cdot 100 = 95,28\%$$

21 автомобіль у першій фазі регулювання та 12 транспортних засобів у другій:

$$x_1 = x_1 + 1 = 20 + 1 = 21 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 45,17 + 2,1 = 47,27 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 = 12 \text{ авт.}$$

$$G_2 = G_2 = 29,31 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 47,27 + 29,31 = 76,58 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 76,58}{3600} = 18,26 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 76,58}{3600} = 8,19 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-18,26} \cdot 18,26^{21}}{21!} \cdot 100 = 92,87\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-8,19} \cdot 8,19^{12}}{12!} \cdot 100 = 94,74\%$$

22 автомобілі у першій фазі регулювання та 13 транспортних засобів у другій фазі:

$$x_1 = x_1 + 1 = 21 + 1 = 22 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 47,27 + 2,1 = 49,37 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 + 1 = 12 + 1 = 13 \text{ авт.}$$

$$G_2 = G_2 + 2,1 = 29,31 + 2,1 = 31,41 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 49,37 + 31,41 = 80,78 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 80,78}{3600} = 19,26 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 80,78}{3600} = 8,63 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-19,26} \cdot 19,26^{22}}{22!} \cdot 100 = 92,96\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-8,63} \cdot 8,63^{13}}{13!} \cdot 100 = 95,77\%$$

23 автомобілі у першій фазі регулювання та 13 транспортних засобів у другій фазі:

$$x_1 = x_1 + 1 = 22 + 1 = 23 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 49,37 + 2,1 = 51,47 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 = 13 \text{ авт.}$$

Час циклу становить

$$G_2 = G_2 = 31,41 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 51,47 + 31,41 = 82,88 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 82,88}{3600} = 19,76 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 82,88}{3600} = 8,86 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-19,76} \cdot 19,76^{23}}{23!} \cdot 100 = 93,55\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-8,86} \cdot 8,86^{13}}{13!} \cdot 100 = 95,28\%$$

24 автомобілі у першій фазі регулювання та 13 автомобілів у другій фазі:

$$x_1 = x_1 + 1 = 23 + 1 = 24 \text{ авт.}$$

Знаходимо час інтервалу зеленого світла:

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 51,47 + 2,1 = 53,57 \text{ с.}$$

Аналогічно для другої фази:

$$x_2 = x_2 = 13 \text{ авт.}$$

Після розрахунку тривалість інтервалу зеленого світла у другій фазі становитиме:

$$G_2 = G_2 = 31,41 \text{ с.}$$

Визначаємо тривалість циклу регулювання:

$$C = G_1 + G_2 = 53,57 + 31,41 = 84,98 \text{ с.}$$

Визначаємо у першій фазі інтенсивність прибуття транспортного засобу за цикл до регульованого перетину у першій фазі:

Залежність для розрахунку

$$a_1 = \frac{N_1 \cdot C}{3600}$$

Після підстановки чисельного значення отримуємо

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 84,98}{3600} = 20,26 \text{ авт.}$$

Аналогічно розраховуємо у другій фазі регулювання

$$a_2 = \frac{N_2 \cdot C}{3600}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 84,98}{3600} = 9,08 \text{ авт.}$$

Ділі визначаємо ймовірність пропуску ТЗ без затримок у 1 фазі регулювання:

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-20,26} \cdot 20,26^{24}}{24!} \cdot 100 = 94,14\%$$

Для 2 фази регулювання

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-8,63} \cdot 8,63^{13}}{13!} \cdot 100 = 94,78\%$$

25 автомобілів у першій фазі регулювання та 14 автомобілів у другій фазі:

$$x_1 = x_1 + 1 = 24 + 1 = 25 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 53,57 + 2,1 = 55,67 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 + 1 = 13 + 1 = 14 \text{ авт.}$$

$$G_2 = G_2 + 2,1 = 31,41 + 2,1 = 33,51 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 55,67 + 33,51 = 89,18 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 89,18}{3600} = 21,27 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 89,18}{3600} = 9,53 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-21,27} \cdot 21,27^{25}}{25!} \cdot 100 = 94,17\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-9,53} \cdot 9,53^{14}}{14!} \cdot 100 = 95,75\%$$

Розрахунку, коли кількість автомобілів у першій фазі становить 26 і у другій фазі 14 одиниць.

$$x_1 = x_1 + 1 = 25 + 1 = 26 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 55,67 + 2,1 = 57,77 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 = 14 \text{ авт.}$$

$$G_2 = G_2 = 33,51 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 57,77 + 33,5 = 91,28 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 91,28}{3600} = 21,27 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 91,28}{3600} = 9,76 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-21,77} \cdot 21,77^{26}}{26!} \cdot 100 = 94,70\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-9,76} \cdot 9,76^{14}}{14!} \cdot 100 = 95,30\%$$

Розрахунку, коли кількість автомобілів у першій фазі становить 27 і у другій фазі 14 одиниць.

$$x_1 = x_1 + 1 = 26 + 1 = 27 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 \cdot 2,1 = 57,77 + 2,1 = 59,87 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 = 14 \text{ авт.}$$

$$G_2 = G_2 = 33,51 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 59,87 + 33,5 = 93,38 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 93,38}{3600} = 22,27 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 93,38}{3600} = 9,98 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-22,27} \cdot 22,27^{27}}{27!} \cdot 100 = 95,22\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-9,98} \cdot 9,98^{14}}{14!} \cdot 100 = 94,83\%$$

27 автомобілів у першій фазі регулювання та 15 автомобілів у другій фазі:

$$x_1 = x_1 = 27 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 = 59,87 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 + 1 = 14 + 1 = 15 \text{ авт.}$$

$$G_2 = G_2 + 2,1 = 33,51 + 2,1 = 35,61 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 59,87 + 35,61 = 95,48 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 95,48}{3600} = 22,77 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 95,48}{3600} = 10,21 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-22,77} \cdot 22,77^{27}}{27!} \cdot 100 = 94,72\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-10,21} \cdot 10,21^{15}}{15!} \cdot 100 = 96,16\%$$

28 автомобілів у першій фазі регулювання та 15 автомобілів у другій фазі:

$$x_1 = x_1 + 1 = 27 + 1 = 28 \text{ авт.}$$

$$G_1 = G_1 + 2,1 = 59,87 + 2,1 = 61,97 \text{ с.}$$

$$x_2 = x_2 = 15 \text{ авт.}$$

$$G_2 = G_2 = 35,61 \text{ с.}$$

$$C = G_1 + G_2 = 61,97 + 35,61 = 97,58 \text{ с.}$$

$$a_1 = \frac{858,5 \cdot 97,58}{3600} = 23,27 \text{ авт.}$$

$$a_2 = \frac{384,8 \cdot 97,58}{3600} = 10,43 \text{ авт.}$$

$$(100 - P_{x_1}) = 100 - \frac{e^{-a_1} \cdot a_1^{x_1}}{x_1!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-23,27} \cdot 23,27^{28}}{28!} \cdot 100 = 95,21\%$$

$$(100 - P_{x_2}) = 100 - \frac{e^{-a_2} \cdot a_2^{x_2}}{x_2!} \cdot 100 = 100 - \frac{e^{-10,43} \cdot 10,43^{15}}{15!} \cdot 100 = 95,75\%$$

2.4 Графічна інтерпретація отриманих результатів

Отримані результати спочатку зведемо до таблиці 2.1, а потім продемонструємо деякі з них у вигляді графічних залежностей, які дають добру наочну уяву про зміну показників.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунку тривалості циклу двофазного регулювання

Протяжність циклу, с	Фаза 1					Фаза 2				
	Зелене світло, с.	Червоне світло, с	Пропускна здатність авто за цикл, хв	Середня к-сть автомобілів, що прибувають	Ймовірність пропуску автомобілів без затримок, %	Зелене світло, с.	Червоне світло, с.	Пропускна здатність авто за цикл, хв	Середня к-сть автомобілів, що прибувають	Ймовірність пропуску автомобілів без затримок, %
34,58	22,07	12,51	9,00	8,25	87,26	12,51	22,07	4,00	3,70	80,70
38,78	24,17	14,61	10,00	9,25	87,86	14,61	24,17	5,00	4,14	83,85
42,98	26,27	16,71	11,00	10,25	88,38	16,71	26,27	6,00	4,59	86,80
47,18	28,37	18,81	12,00	11,25	88,84	18,81	28,37	7,00	5,04	89,38
51,38	30,47	20,91	13,00	12,25	89,25	20,91	30,47	8,00	5,49	91,54
55,58	32,57	23,01	14,00	13,25	89,62	23,01	32,57	9,00	5,94	93,32
59,78	34,67	25,11	15,00	14,26	89,95	25,11	34,67	10,00	6,39	94,75
63,98	36,77	27,21	16,00	15,26	90,25	27,21	36,77	11,00	6,84	95,89
66,08	38,87	27,21	17,00	15,76	90,82	27,21	38,87	11,00	7,06	95,32
68,18	40,97	27,21	18,00	16,26	91,45	27,21	40,97	11,00	7,29	94,72
72,38	43,07	29,31	19,00	17,26	91,63	29,31	43,07	12,00	7,74	95,81
74,48	45,17	29,31	20,00	17,76	92,24	29,31	45,17	12,00	7,96	95,28
76,58	47,27	29,31	21,00	18,26	92,87	29,31	47,27	12,00	8,19	94,74
80,78	49,37	31,41	22,00	19,26	92,96	31,41	49,37	13,00	8,63	95,77
82,88	51,47	31,41	23,00	19,76	93,55	31,41	51,47	13,00	8,86	95,28
84,98	53,57	31,41	24,00	20,26	94,14	31,41	53,57	13,00	9,08	94,78
89,18	55,67	33,51	25,00	21,27	94,17	33,51	55,67	14,00	9,53	95,75
91,28	57,77	33,51	26,00	21,27	94,70	33,51	57,77	14,00	9,76	95,30
93,38	59,87	33,51	27,00	22,27	95,22	33,51	59,87	14,00	9,98	94,83
95,48	59,87	35,61	27,00	22,27	94,72	35,61	59,87	15,00	10,21	96,16
97,58	61,97	35,61	28,00	23,27	95,21	35,61	61,97	15,00	10,43	95,75

Приведемо деяку графічну інтерпретацію для першої фази, рис. 2.1-2,3.

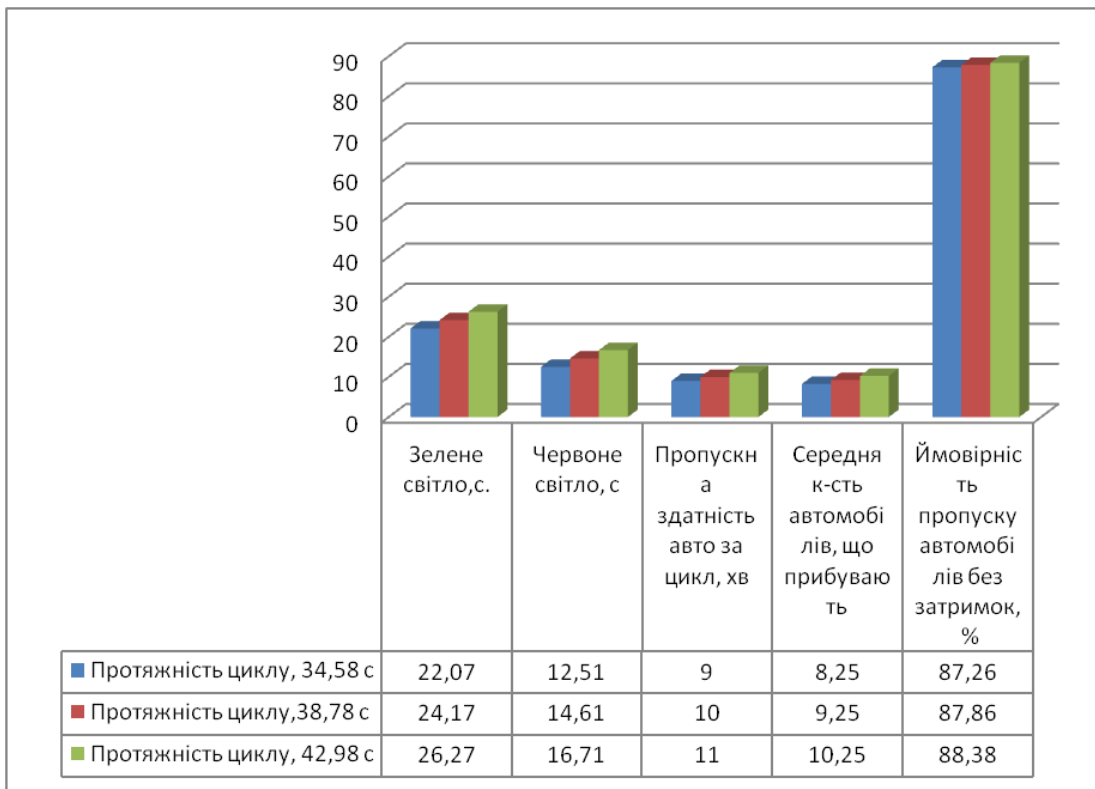


Рисунок 2.1 – Розподіл циклів при зміні загального циклу: 34,55; 38,78; 42,98

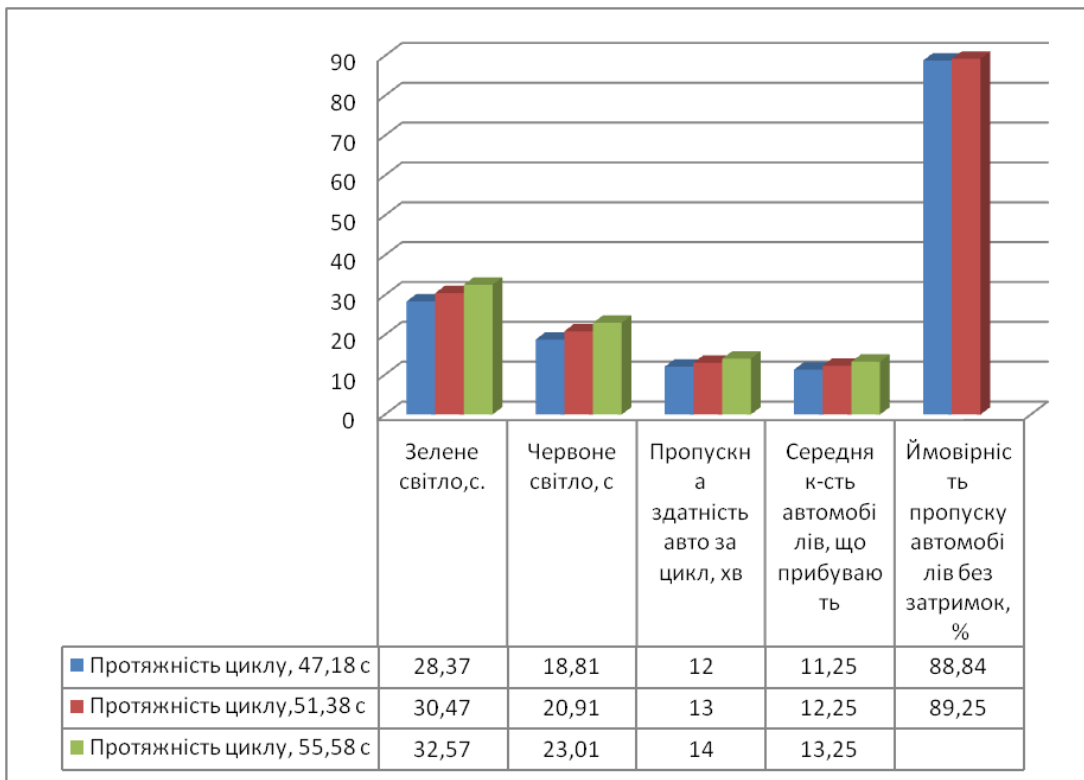


Рисунок 2.2 – Розподіл циклів при зміні загального циклу: 47,18; 51,38; 55,58

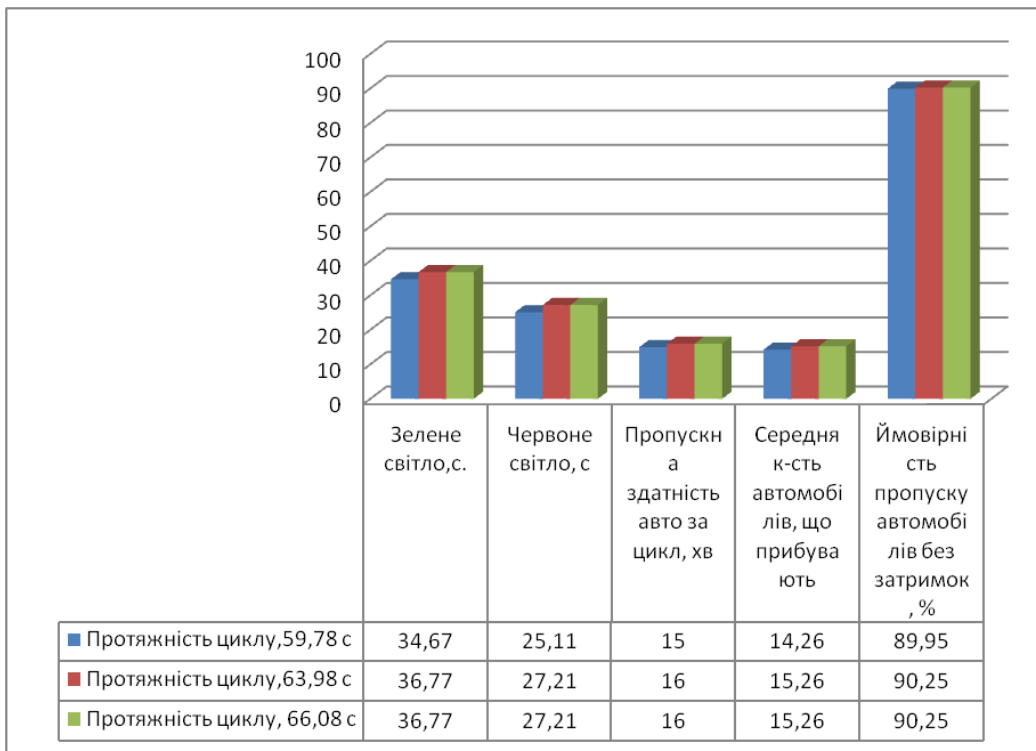


Рисунок 2.3 – Розподіл циклів при зміні загального циклу: 59,78; 63,98; 66,08

Аналогічно покажемо для перших дев'яти значень протяжності циклу для фази 2, рис. 2.4 – 2.6.

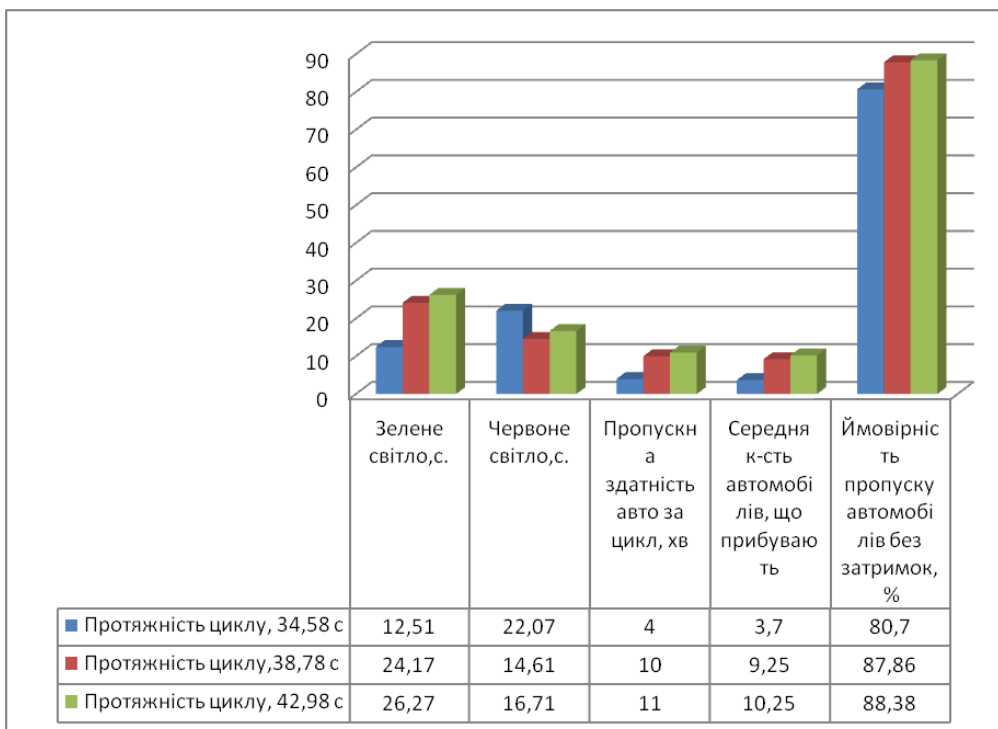


Рисунок 2.4 – Розподіл циклів при зміні загального циклу у фазі 2: 34,55; 38,78; 42,98

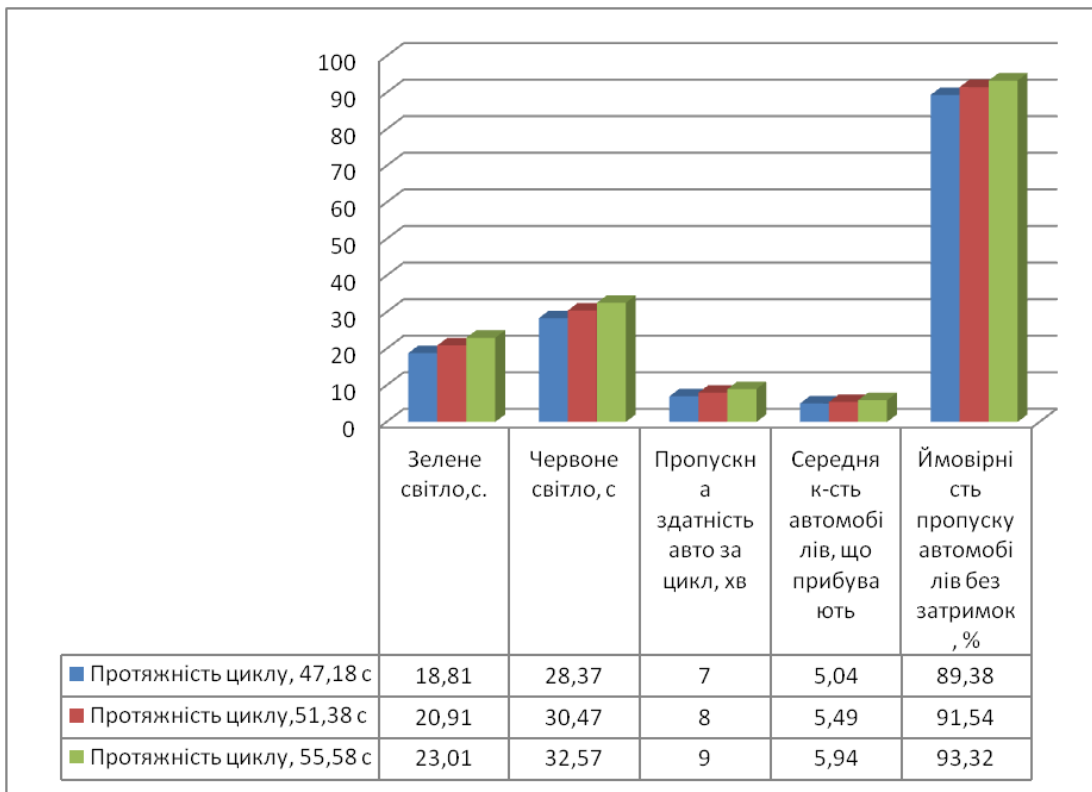


Рисунок 2.5 – Розподіл циклів при зміні загального циклу у фазі 2: 47,18; 51,38; 55,58

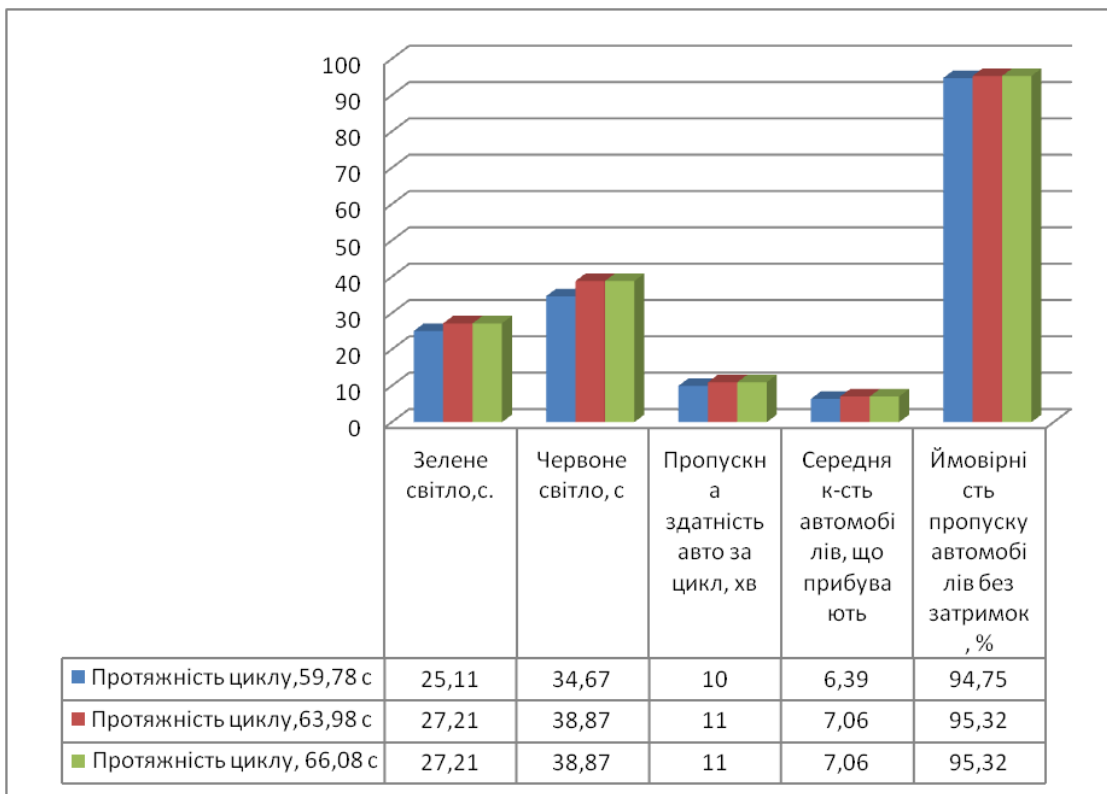


Рисунок 2.6 – Розподіл циклів при зміні загального циклу у фазі 2: 59,78; 63,98; 66,08

Таким чином, вказано на зміну циклів кожній фазі на кількох прикладах

ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Обґрунтування тривалості перехідних інтервалів

Кожен водій знає, що для зупинки автомобіля потрібен час, а тому не може бути миттєво змінений сигнал світлофора з дозволеного на заборонений. Тому що в кожному випадку діє фактор часу реакції водія на зміну дорожньої обстановки та вимоги регулювального технічного засобу. Це саме стосується, коли водій зупинився на перехресті на заборонений сигнал світлофора та починає рух, щоб звільнити перехрестя.

Тобто завжди є затримка часу на реакцію водія при зупинці чи початку руху автомобіля. Тому потрібно дуже грамотно розрахувати час жовтого кольору світлофора, при якому рух заборонено, але водій розуміє, що він має приготуватися до тієї чи іншої дії.

Наприклад час, що потрібний для зупинки автомобіля буде мати такі складові: час реакції водія та час технічної зупинки транспортного засобу, тобто час безпосереднього гальмування.

Якщо t_1 – повний час зупинки, t_p – час, що затрачає водій поки зреагує, що має робити (до початку дії) – реакція водія, S_1 – відстань пройдена автомобілем для здійснення гальмування; V – швидкість руху транспортного засобу:

$$t_1 = t_p + \frac{S_1}{V/2} = t_p + \frac{2S_1}{V} = t_p + \frac{S_1}{V} + \frac{S_1}{V}. \quad (3.1)$$

Час, при якому звільняється перехрестя t_2 визначається за залежністю

$$t_2 = t_p + \frac{S_1}{V} + \frac{S_2}{V}. \quad (3.2)$$

Гальмівний шлях S_1 визначаємо за залежністю

$$S_1 = \frac{0,004 \cdot V^2}{\varphi}. \quad (3.3)$$

Звідси випливає, загальний час перехідного інтервалу є сумою розрахованого часу зупинки та звільнення перехрестя

Прорахуємо ці значення для фази 1

$$S_1 = \frac{0,004 \cdot 83}{13,8} = 20,83 \text{ м.}$$

$$t_1 = 1 + \frac{2 \cdot 20,83}{13,8} = 4,01 \text{ с.}$$

$$t_2 = 4,01 - \frac{20,83}{13,8} + \frac{8}{13,8} = 3,08 \text{ с.}$$

Аналогічний розрахунок для фази 2

$$S_1 = \frac{0,004 \cdot 48^2}{0,48} = 19,2 \text{ м.}$$

$$t_1 = 1 + \frac{2 \cdot 19,2}{13,3} = 3,89 \text{ с.}$$

$$t_2 = 3,89 - \frac{19,2}{13,3} + \frac{8,2}{13,3} = 3,06 \text{ с.}$$

Отже, загальна тривалість перехідних інтервалів буде при округленні 4 с.

3.2 Визначення часу затримок автомобілів на світлофорі

Визначимо інтервали прибуття автомобілів на ділянку дії світлофора

$$A = \frac{3600}{N}, \text{ с.} \quad (3.4)$$

Час загальної затримки всіх автомобілів перед світлофором визначимо за залежністю

$$T = nR - \frac{n^2 A}{2} + \frac{2,1n(n+1)}{2} + 3,7 - Q, \quad (3.5)$$

де Q рівно: 2,0 при $n = 1$;

3,0 при $n = 2$

3,4 при $n = 3$

3,5 при $n > 4$

Визначимо час середньої затримки часту, що припадає на один транспортний засіб

$$\frac{T}{n} = \frac{R + 4,75}{2} - Q \frac{A - 2,1}{R + 4,75}. \quad (3.6)$$

Прорахуємо значення для першого випадку

$$A = \frac{3600}{858,5} = 4,19, c.$$

$$n = \frac{35,61 + 4,75}{4,19 - 2,1} = 19,31, од.$$

Тут візьмемо $n = 20$.

$$T = 20 \cdot 35,61 - \frac{20^2 \cdot 4,19}{2} + \frac{2,1 \cdot 20 \cdot (20 + 1)}{2} + 3,7 - 3,5 = 229,9 c.$$

$$\frac{T}{n} = \frac{35,61 + 4,75}{2} - 3,5 \cdot \frac{4,19 - 2,1}{35,61 + 4,75} = 20 c.$$

Для другого випадку

$$A = \frac{3600}{384,8} = 9,36, c.$$

$$n = \frac{61,97 + 4,75}{9,36 - 2,1} = 9,19, од.$$

Візьмемо $n = 10$.

$$T = 10 \cdot 61,97 - \frac{10^2 \cdot 9,36}{2} + \frac{2,1 \cdot 10 \cdot (10 + 1)}{2} + 3,7 - 3,5 = 284,4 c.$$

$$\frac{T}{n} = \frac{61,97 + 4,75}{2} - 3,5 \cdot \frac{9,36 - 2,1}{61,97 + 4,75} = 32,98 \text{ с.}$$

3.3 Розробка математичної моделі циклу світлофорного регулювання на перетині міських вулиць

Виконані розрахунки справедливі, якщо всі вихідні дані є наперед визначеними та мають певну стабільність. Насправді в реальному житті на перехрестях інтенсивність руху кожного разу змінна, тому такі процеси моделюють з використанням математичних методів, з яких створюють математичні описи, тобто математичні моделі та аналізують можливі варіанти кінцевого результату такої моделі.

Побудуємо математичну модель перетину перехрестя із забезпеченням безконфліктного пропуску автомобілів та тривалості циклів світлофорного регулювання. В основні моделі буде метод найменших квадратів.

Встановимо імовірність затримки автомобіль в залежності від тривалості циклу світлофорного регулювання руху на перехресті.

За попередніми дослідженнями та розрахунками встановлено, що характер зміни тривалості циклу та імовірності безперервного пропуску автомобілів через перехрестя має лінійну залежність

$$y = a \cdot x + b. \quad (3.7)$$

Коефіцієнти будемо знаходити за методом найменших квадратів

$$a = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i (\sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}, \quad (3.8)$$

$$b = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i (\sum x_i y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}; \quad (3.9)$$

Тепер врахуємо, що ймовірність безконфліктного пропуску транспортних засобів через регульоване перехрестя змінюється при зміні часу циклу першої, а також другої фаз, причому вони не залежать одна від одної. Аналіз показує, що визначальним є тривалість першої фази, яка моделюється простою лінійною регресією, коефіцієнти якої становлять:

$$a = \frac{2845727,85 - 2824954,07}{2311848,21 - 2153380,15} = 0,13$$

$$b = \frac{211929327,17 - 198854041,72}{2311848,21 - 2153380,15} = 82,51$$

Максимальна схожість визначається мінімальним квадратичним відхиленням

$$S_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}); \quad (3.10)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}; \quad (3.11)$$

$$\sigma_a^2 = \frac{\sigma^2}{n S_x^2}; \quad (3.12)$$

$$\sigma_b^2 = \frac{\sigma^2}{n} \left(1 + \frac{\overline{x^2}}{S_x^2} \right); \quad (3.13)$$

$$K_{ab} = -\frac{\sigma^2 \overline{x}}{n S_x^2}; \quad (3.14)$$

$$\sigma_y^2 = x_i^2 \sigma_a^2 + \sigma_b^2 + 2x_i K_{ab} = \frac{\sigma^2}{n S_x^2} \left[\overline{(x)} - x_i^2 + S_x^2 \right]; \quad (3.15)$$

Проведемо розрахунок

$$\overline{x} = \frac{1467,44}{21} = 69,87;$$

$$S_x^2 = \frac{7546,56}{21} = 359,36;$$

$$\sigma_a^2 = 0,000133;$$

$$\sigma_b^2 = 0,694659;$$

$$K_{ab} = -\frac{69,87}{7546,56} = -0,01;$$

За результатами розрахунків встановлено розсіювання досліджуваної величини $\sigma_y^2 \max = 0,21$, $\sigma_y^2 \min = 0,14$.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Фінансування охорони праці. Основні положення законодавства про працю

Відповідно до ст. 19 Закону України "Про охорону праці" фінансування заходів з охорони праці на підприємстві здійснюється роботодавцем.

Для підприємств, незалежно від форм власності, або фізичних осіб, які використовують найману працю, витрати на охорону праці становлять не менше 0,5 % від суми реалізованої продукції, а для підприємств, що утримуються за рахунок бюджету, такі витрати передбачаються в Державному або місцевих бюджетах і становлять не менше 0,2 % від фонду оплати праці.

Суми витрат з охорони праці, що належать до валових витрат юридичної чи фізичної особи, яка відповідно до законодавства використовує найману працю, визначаються згідно з переліком заходів та засобів з охорони праці, що затверджується Кабінетом Міністрів України.

Фінансування профілактичних заходів з охорони праці, виконання загальнодержавної, галузевих та регіональних програм поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, інших державних програм, спрямованих на запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням, передбачається, поряд з іншими джерелами фінансування, визначеними законодавством, у Державному і місцевих бюджетах, що виділяються окремим рядком. Основні положення законодавства про працю, що регулюють трудові відносини всіх працівників, відображені в Кодексі законів про працю України (КЗпП). Розглянемо деякі з них.

Громадяни України мають право на вільний вибір професії, роду занять і роботи, причому оплата праці повинна бути не нижче встановленого державою мінімального розміру. Держава забезпечує рівність трудових прав

усіх громадян.

Працівник реалізує право на працю шляхом укладання трудового договору. Трудовий договір - це угода між працівником і роботодавцем, за якою працівник зобов'язується виконувати роботу, визначену цією угодою, з дотриманням внутрішнього трудового розпорядку, а роботодавець зобов'язується сплачувати працівникові заробітну плату і забезпечувати умови праці, необхідні для виконання роботи, передбачені законодавством і угодою сторін. Особливою формою трудового договору є контракт [41].

Трудовий договір може бути укладений на:

- невизначений термін (безстроковий);
- визначений термін, встановлений за погодженням сторін;
- термін виконання певної роботи.

Роботодавець не має права вимагати від працівника виконання роботи, не обумовленої трудовим договором.

До початку роботи працівника роботодавець зобов'язаний:

- пояснити працівникові його права і обов'язки та поінформувати під розписку про умови праці, наявність на його робочому місці небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які ще не усунуто, можливі наслідки їх впливу та про права працівника на пільги та компенсації за роботу в таких умовах;

- ознайомити працівника з правилами внутрішнього трудового розпорядку та колективним договором;

- визначити працівникові робоче місце, забезпечити необхідними для роботи засобами;

- проінструктувати працівника з питань охорони праці, виробничої санітарії, гігієни праці й протипожежної охорони.

У процесі трудової діяльності працівників роботодавець зобов'язаний:

- правильно організувати працю працівників, створювати умови для зростання продуктивності праці;

- забезпечити трудову і виробничу дисципліну;

- неухильно дотримуватись законодавства про працю і охорону праці;
- уважно ставитися до потреб і запитів працівників, поліпшувати умови їх праці та побуту.

У свою чергу працівник зобов'язаний:

- своєчасно і точно виконувати законні розпорядження роботодавця;
- виконувати доручену йому роботу особисто, не передоручати її іншій особі, за винятком випадків, передбачених законодавством; працювати чесно і сумлінно;

- дотримуватись трудової та технологічної дисципліни, вимог нормативно-правових актів з охорони праці;

- дбайливо ставитись до майна роботодавця.

Роботодавець має право відсторонити працівника від роботи у разі:

- появи на роботі в нетверезому стані, у стані наркотичного або токсичного сп'яніння;

- відмови або ухилення від обов'язкових медичних оглядів, навчання, інструктажу і перевірки знань з охорони праці та протипожежної охорони;

- в інших випадках, передбачених законодавством.

З метою регулювання виробничих, трудових і соціально-економічних відносин і узгодження інтересів працівників та роботодавця між ними укладається колективний договір. Від імені працівників (трудоного колективу) право укласти колективний договір надається, як правило, профспілковому комітету підприємства. Термін дії колективного договору - один рік. З-поміж інших питань до колективного договору належать питання охорони праці. Сторони, які підписали колективний договір, щорічно в строки, передбачені договором, звітують про його виконання.

КЗпП запроваджена нормальна та скорочена тривалість робочого часу. Нормальна тривалість робочого часу працівників не перевищує 40 год. на тиждень. Скорочена тривалість робочого часу встановлюється для:

- працівників віком від 16 до 18 років - 36 год. на тиждень;

- осіб віком від 15 до 16 років (учнів віком від 14 до 15 років, які працюють під час канікул) – 24 год на тиждень;
- працівників, зайнятих на роботах зі шкідливими умовами праці, – не більше як 36 год на тиждень.

Працівникам надається перерва для відпочинку і харчування тривалістю не більше двох годин. Така перерва не враховується в робочий час. Час початку і закінчення перерви регламентується правилами внутрішнього трудового розпорядку. Працівники використовують час перерви на свій розсуд. На цей час вони можуть відлучатися з місця роботи.

4.2 Розробка заходів підвищення безпеки руху

Зростання об'ємів руху транспорту на вулицях міст, підвищення динамічних якостей машин, збільшення експлуатаційної швидкості вимагають безперервного зростання забезпечення безпеки руху і попередження дорожньо-транспортних подій.

До дорожньо-транспортних подій прийнято відносити зіткнення транспортних засобів між собою, наїзди їх на перешкоди (інженерні споруди вулиць і доріг, транспортні засоби, що нерухомо стоять), наїзди транспортних засобів на пішоходів, падіння пасажира з рухомої машини, зокрема при вході або виході з неї на зупинці, в результаті порушення правил посадки, висадки, під'їзду і від'їзду від зупинки.

Правила технічної експлуатації тролейбуса - випробуванні керівним документом, що визначає організацію руху, зміст пристроїв і основного устаткування, що забезпечують експлуатацію тролейбуса, порядок роботи, має рацію і обов'язки працівників транспортних підприємств. Правила технічної експлуатації встановлюють норми, величини і якісні вимоги при будівництві і змісті транспортних споруд, дорогий, рухомого складу, сигнальних пристроїв, енергопостачання і іншого устаткування.

Вивчення і знання Правил технічної експлуатації, систематична перевірка цих знань, дієвий контроль за їх дотриманням - одна з головних умов безаварійної роботи міського транспорту.

Правила дорожнього руху регламентують порядок руху транспортних засобів по дорозі. Порушення цих правил, зневагу викладеними в них вимогами неминуче приведуть до аварії. За всякі порушення правил дорожнього руху водій транспортного засобу несе персональну відповідальність.

Водій повинен уміти швидко ухвалювати рішення і виконувати їх в складних, а іноді і небезпечних дорожніх умовах. Прояв нерішучості, страху можуть привести до тяжких наслідків. Не менш важлива для водія якість - самовладання, здатність не втрачатися при виникненні небезпеки, не піддаватися паніці. Разом з тим водій тролейбуса під час роботи зобов'язаний проявляти і обережність - дії, обумовлені відсутністю інформації про обстановку, що створилася, і шляхи розвитку події.

Важливе значення для забезпечення безпеки руху має реакція водія. Час реакції залежить від професійного навичку водія, фізичного і нервово-психічного стану, а також від самопочуття його у цей момент. Нормальним часом реакції вважається 0,8 с.

При роботі за кермом тролейбуса нервова система водія постійно випробовує підвищене навантаження. Безперервний контроль і спостереження, фізичне і моральне навантаження позначаються на стані нервової системи водія і викликають стомлення. Стомлений організм реагує ослабленням сприйняття зовнішніх сигналів і реакції на ці сигнали.

У великому місті водій транспорту протягом 1 год потрапляє близько 200 разів в нетипові ситуації, що вимагають від нього ухвалення рішень і їх виконання. Справитися з таким навантаженням водій може тільки за умови, що тролейбус добре керований. Мається на увазі не тільки технічний стан тролейбуса, але і уміння водія управляти машиною, його здатність бачити і передбачати дорожню обстановку, професійні якості водія.

Важливо навчитися користуватися гальмом і пам'ятати, що метою гальмування є зниження швидкості, яке краще всього досягається використанням електричного гальмування, що забезпечує в більшості випадків хорошу стійкість тролейбуса. При різкому пневматичному гальмуванні навантаження перемістяться на колеса веденого моста, і якщо почнеться занесення тролейбуса при блокуванні коліс, то керовані колеса почнуть виходити з-під контролю водія. Тому при користуванні пневматичним гальмом рекомендується гальмувати короткими і несильними натисненнями на педаль, що виключає тривале блокування коліс, а шини зберігають повністю зчеплення з дорожнім покриттям. У випадках екстреного гальмування не слід забувати, що, якщо тролейбус починає заносити, потрібно відпустити гальмівну педаль і повертати рульове колесо у бік занесення.

Чинники, що впливають на величину гальмівного шляху: швидкість руху, технічний стан гальмівної системи, стан дорожнього покриття, погодні умови, рельєф місцевості, навантаження і ступінь зносу протектора і тиск в шинах.

Водій тролейбуса повинен не тільки добре знати, але і розуміти правила дорожнього руху і бути пропагандистом цих правил. У комплекс параметрів, що забезпечують високу безпеку руху, входять наступні: багатогранна виховна робота, направлена на вироблення у водіїв високої трудової і транспортної дисципліни; постійне вдосконалення майстерності водіння і поповнення знань водіїв в області забезпечення безпеки руху; вивчення причин дорожньо-транспортних подій; явна оцінка дій водіїв в конкретних умовах події, громадське обговорення і засудження випадків порушення окремими водіями правил дорожнього руху і трудової дисципліни; глибоке і всебічне вивчення експлуатованого рухомого складу, сезонних особливостей його експлуатації і упроваджених удосконалень; пропаганда передового досвіду окремих водіїв і цілих маршрутів; конкурси з безпеки руху і змагання за роботу без дорожньо-транспортних подій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами спостережень та розрахунків встановлено наступні параметри транспортного процесу:

За першою фазою руху:

інтенсивність руху 720 авт./ год.; лівий поворот виконують 18 % всього транспорту; в потоці 15 % тихохідний транспорт рухається у прямому напрямку і 15% тихохідний транспорту ліворуч. Швидкість підходу до перехрестя складає 50 км/год.

Для другої фази:

інтенсивність руху 320 авт./ год.; лівий поворот виконують 18 % всього транспорту; в потоці 20 % тихохідний транспорт рухається у прямому напрямку і 10% тихохідний транспорту ліворуч. Швидкість підходу до перехрестя складає 48 км/год.

Рух зустрічного потоку транспорту затримується на 1,3 с при виконанні тихохідним транспортом лівого повороту.

У часовому вираженні для автомобіля, що виконує лівий поворот еквівалент складає 1,6 автомобіля у порівнянні з автомобілем, що рухається прямому напрямку.

При інтенсивності руху 858,5 од./год за секцією у вертикальному напрямі та 384,8 од./год за секцією горизонтальному напрямі на перехресті тривалість циклу світлофорного регулювання складає $C = 34,58 \text{ с}$.

Тривалість інтервалів зеленого світла для першої фази $G_1 = 22,07 \text{ с}$.

Для другої фази $G_2 = 2,51 \text{ с}$.

І такі результати отримано для всіх розглядуваних випадків інтенсивностей руху транспорту та при поєднаннях співвідношень циклів світлофорного регулювання.

Для перехідних інтервалів, а також затримок автомобілів на світлофорі встановлено:

Розглядаючи першу фазу: перехідний інтервал складає $t_1 \approx 4c$; загальна затримка, становить $T = 229,9c$; затримка, що припадає на один автомобіль $20c$.

Для другої фази відповідно: $t_2 \approx 4c$; $T = 284,4c$; затримка – $32,98c$

Якщо буде встановлений цикл світлофорного регулювання – $35,61c$, то з ймовірністю 95% перехрестя буде пропускати автомобілі без затримок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Поліщук В.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху: навч. посіб. / В.П. Поліщук, О.П. Дзюба. – К.: Знання України, 2008. – 175 с.
2. Гончаров М. Ю. Системний факторний аналіз економічних процесів на транспорті / Інститут (Центр) комплексних транспортних проблем. – К.: Логос, 1999. – 423 с.
3. Babii, M., Tson, O., Kuchvara, I., & Chernii, V. (2021). Підвищення ефективності організації дорожнього руху на нерегульованому перехресті. *Розвиток транспорту*, (1(8)), 125-134. <https://doi.org/10.33082/td.2021.1-8.12>
4. Кашканов А.А., Ребедаило В.М. Економіка підприємств автомобільного транспорту: Навч. посібник для студ. спец. "Автомобілі та автомобільне господарство" / Вінницький держ. технічний ун-т.–Вінниця: ВДТУ, 2002.– 115 с.
5. Andreykiv O., Babii A., Dolinska I., Yadzhak N., Babii M. Residual lifetime prediction of field sprayer booms under the action of manoeuvre loading and corrosive environment. *Procedia Structural Integrity*. Volume 36, 2022, Pages 36-42.
6. Валеропуло Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте / Г.А. Валеропуло. – М.: Транспорт. 1990. – 207 с.
7. Бабій А.В., Бабій М.В. Динамічна модель енергозберігаючого приводного механізму косарки. Вісник ХНТУСГ. Випуск 145. “Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва”. Харків, 2014. С.112–118.
8. Модели и методы теории логистики / под ред. В.С. Лукинского. СПб.: Питер, 2007. 448 с.
9. Babii A., Babii M.(2019) Taking impact of oscillation amplitude of boom sprayers load-bearing frame sections. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol. 95, no 3, pp. 97-104.

10. Андрейків О.Є., Лисак А.Р., Штаюра Н.С., Бабій А.В. Оцінювання залишкового ресурсу тонкостінних елементів конструкцій з короткими корозійно-втомними тріщинами // Фізико-хімічна механіка матеріалів. 2017, №4. С. 84-90.
11. Babii A.; Aulin V.; Babii M.; Levytskyi B. (2022) Investigation of the working capacity of the operating body suspension functional-transporting machine. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 105, no 1, pp. 5–12.
12. Neoplan : [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Neoplan>
13. Бабій М.В., Долинний А.В., Костюк Є.Р. Постановка основних задач організації перевезень тролейбусним транспортом. Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “. Тернопіль : ТНТУ, 2019. Том 1. С. 159–160.
14. Syrotyuk A.M., Babii A.V., Barna R.A., Leshchak R.L., Marushchak P.O. Corrosion-Fatigue Crack-Growth Resistance of Steel of the Frame of a Sprayer Boom. Materials Science, 2021, 56(4), P. 466–471.
15. Осипов В.Т. Маршрутизация перевозок грузов / Осипов В.Т. – М.: Транспорт, 1973. – 200 с.
16. В.В. Аулін, М.Є. Кристопчук, О.П. Цьонь, М.Я. Сташків, М.В. Бабій, Ю.Д. Бодоря. Глобальна криза від пандемії Covid-19 та її вплив на мобільність населення. Центральнотернопільський науковий вісник. Технічні науки, 2021, вип. 4(35). С. 247-253.
17. Бабій А., Лещак Р., Барна Р. Корозійна тривкість сталі рами штангових обприскувачів у рідинному середовищі агрохімікатів // Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів: спец. вип. журналу „Фізико–хімічна механіка матеріалів”. № 13. Львів: Фізико–механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2020. С. 356–360.
18. Бабій М.В., Мазурок О.І., Бакан С.А., Школовий В.Б., Борисюк С.П. Інформаційне управління транспортними потоками при забезпеченні ланцюгів

постачань. Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 17-19 листопада 2022 р „Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту“. Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький: ЦНТУ, 2022. С. 17-18.

19. Хэндфилд Р.Б., Эрнест Л. Реорганизация цепей поставок: Создание интегрированных систем формирования ценностей. М.: Вильямс, 2003.

20. Арутюнова Г. И. Введение в экономику транспорта / Московский автодорожный ин-т (Технический ун-т). – М., 1995. – 100 с.

21. Бабій М. В. Дослідження роботи енергозберігаючого приводного механізму косарки / Марія Василівна Бабій, Андрій Васильович Бабій // Вісник ТНТУ — Тернопіль : ТНТУ, 2015. – Том 77. – № 1. – С. 149-161. – (Машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).

22. Дмитриев И.А., Жарова О. М. Экономика предприятий автомобильного транспорта: Учеб. пособие для студ. вузов / Харьковский национальный автомобильно-дорожный ун-т. – Х. : ХНАДУ, 2004. – 183 с.

23. Бабій М.В. Дослідження ефективності розподілу асигнувань між взаємодіючими видами транспорту. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій “до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя. Тернопіль : ТНТУ, 2020. С. 55.

24. Здерева Т. О., Иванова Н. Ю., Новак І. В., Когденко В. Г., Головніна О. Г. Економічне обґрунтування бізнес-плану роботи АТП / УТУ. К., 1996. – 60 с.

25. О.Л. Ляшук, О.П. Цьонь, В.О. Дзюра, М.В. Бабій, М.Є. Кристопчук, С.В. Лисенко, Ю.Д. Бодоряк. Дослідження безпеки дорожнього руху на автошляхах. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки, 2022, вип. 5(36)_1. С. 311-317.

26. Бабій М.В., Легета В.В. Квадратичний тренд як інструмент прогнозування

товаропотоку для автоперевезень. Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“. Тернопіль : ТНТУ, 2017. Том 3. С. 20-21.

27. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання, Тернопіль, 2022р, 155 с.

28. Безпека життєдіяльності. Навчальний посібник / За редакцією Я.І. Бедрія. – Львів: Видавнича фірма «Афіша», 1999. - 275 с.

29. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Бабій А.В. Закономірності впливу високомодульних наповнювачів на розподіл полів напружень в поверхневих шарах деталей машин, виготовлених з полімерних композитних матеріалів. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 5(36)_I. С. 55-70.

30. Лещак Р.Л., Бабій А.В., Барна Р.А., Бабій М.В., Гіряк Р.С., Сиротюк А.М. Корозійна тривкість покриття каркаса штанги сільськогосподарського обприскувача. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. Том 58, № 2. 2022. С. 116–121.

31. Бабій М.В., Бісовський Н.М., Балацький С.С. Аналіз проблематики при взаємодії видів транспорту. Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“. Тернопіль : ТНТУ, 2020. Том 1. С. 153.

32. Бабій А.В., Коноваленко С.І., Бабій М.В., Цепенюк М.І. Причіпний пристрій широкозахватної машини. Деклараційний патент на корисну модель 140142 А01В 59/06 (2006.01). Заявлено 24.06.2019, u201907015 опубліковано 10.02.2020, бюл. № 3/2020.

33. Бабий, А. Математическая модель нагрузки привода режущего аппарата косилки [Текст] / А. Бабий, М. Бабий, Т. Рыбак // Motrol, 2014. – Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin. Vol. 16, No 4. – С.275–284.

34. Бабій М.В., Владика Х.С., Смірнов М.М. Проблеми контейнерних

перевезень в Україні та шляхи їх вирішення. Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “. Тернопіль : ТНТУ, 2019. Том 1. С. 158.

35. Колодізева Т.О. Управління ланцюгами поставок: навчальний посібник / Т.О. Колодізева. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2016. – 164 с.

36. Rybak T.I., Babii A.V., Bortnyk I.M. et al. Evaluation of the Service Life of the Frames of Sections of Boom Field Sprayers. *Mater Sci* 55, 374–380 (2019).

37. Бабій М.В., Денисюк В.І. Застосування найпростіших трендів для прогнозування товаропотоку автоперевезень на наступний рік. Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “. Тернопіль : ТНТУ, 2017. Том 3. С. 18-19.

38. Andrii Babii, Taras Dovbush, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Anna Tson, Vasyl Oleksyuk, 2022. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor. *Procedia Structural Integrity* No 36. 203-210.

39. Вікович І.А. Теорія руху транспортних засобів: підруч. / І.А. Вікович. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 672 с.

40. Бабій М.В., Ошуст Р.Р. Аналіз новинок спецтехніки для автомобільних перевезень. Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій “. Тернопіль : ТНТУ, 2018. Том 1. С. 189.

41. Желібо Є.П., Заверуха Н. М., Зацарний В. В. Безпека життєдіяльності: Навч. посіб. / За ред. Є П. Желібо. 5-е вид. – К.: Каравела, 2007. – 344 с.

42. Аксенов В. А., Попова Е. П., Дивочкин О. А. Экономическая эффект. рациональной организации дорожного движения. М.: Транспорт, 1987.-128 с.

43. Бабій М.В. Дослідження параметрів стрічкового конвеєра для транспортування сипучих матеріалів. Матеріали наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Тернопіль, 2019. С. 37-38.

44. Гаврилов А. А. Моделирование дорож. движения. М.: Трансп., 1980-189 с.