

О. В. СТЕПАНОВ, П. Л. КУЛАЙ, В. П. КУЛАЙ, Т. В. ВОЛОБУЄВА, Є. І. КАЛІНІН

ПОРІВНЯЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ПЕРЕХРЕСТЯ ЗА МЕТОДОЮ ВЕБСТЕРА, АЛЬТЕРНАТИВНОЮ МЕТОДОЮ І ЦИКЛОМ, ЩО ПРАЦЮЄ НА ПЕРЕХРЕСТІ

У статті представлено порівняльний аналіз результатів розрахунку параметрів перехрестя за методикою Вебстера, альтернативною методикою та циклом, який було розраховано і впроваджено на перехресті вулиць Патріарха Мстислава та Європейська у місті Полтава, Україна. Аналіз спрямований на оцінку ефективності та застосовності різних методологій у реальних сценаріях управління дорожнім рухом, зокрема, зосереджуючись на перехресті в Полтаві. Порівняння відомої методики Вебстера з альтернативним підходом та фактично впровадженим циклом на конкретному перехресті дозволяє виявити сильні та слабкі сторони та потенційні можливості оптимізації дорожнього руху. Стаття має важливе значення для міських планувальників, інженерів-транспортників та політиків, які займаються управлінням дорожнім рухом, оскільки надає інформацію про практичні підходи до покращення ефективності роботи перехрестя у міських умовах.

Ключові слова: Перехрестя, розрахунок циклу, вулиця, магістраль, транспортний потік.

O. STEPANOV, P. KULAY, V. KULAY, T. VOLOBUYEVA, Ye. KALININ

COMPARATIVE RESULTS OF INTERSECTION CALCULATION USING WEBSTER'S METHOD, AN ALTERNATIVE METHOD, AND THE CYCLE OPERATING AT THE INTERSECTION

The article conducts a comparative analysis of intersection parameter calculations using Webster's method, an alternative approach, and a cycle that was calculated and implemented at the intersection of Patriarch Mstyslav and European streets in Poltava, Ukraine. This analysis aims to evaluate the effectiveness and applicability of different methodologies in real-world traffic management scenarios, particularly focusing on the intersection in Poltava. By comparing Webster's widely recognized method with an alternative approach and the actual implemented cycle at the specific intersection, the study seeks to identify strengths, weaknesses, and potential improvements in traffic flow optimization. The article is significant for urban planners, traffic engineers, and policymakers involved in traffic management, as it provides insights into practical approaches to improving intersection efficiency in urban settings.

Key words: Crossing, cycle calculation, street, highway, traffic flow.

Вступ.

Метод Вебстера - це широко визнаний спосіб розрахунку оптимальної тривалості циклу світлофорних сигналів на перехрестях. Цей метод було розроблено доктором Ф.В. Вебстером та вважається основним інструментом в інженерії дорожнього руху для ефективного управління потоком транспорту на світлофоризованих перехрестях.

Основна мета методу Вебстера - мінімізувати загальну затримку, яку відчувають транспортні засоби та пішоходи на перехресті. Він цього досягає, визначаючи найефективніший часовий інтервал для фаз світлофорних сигналів, збалансовуючи конкуруючі потреби різних потоків транспорту на перехресті.

Основні аспекти методу Вебстера включають:

- Аналіз транспортного потоку: Метод передбачає аналіз потоку транспорту з усіх напрямків на перехресті, включаючи підрахунок транспортних засобів та рух пішоходів. Ці дані є критично важливими для розуміння попиту на транспорт на перехресті.

- Розрахунок потоків по критичним смугам: Метод розраховує потік транспорту по найбільш завантаженим смугам (критичним смугам), щоб визначити попит на світлофорний сигнал.

- Визначення тривалості циклу: Використовується формула Вебстера для розрахунку оптимальної тривалості циклу. Формула враховує потоки по критичним смугам та втрачений час за цикл (час, втрачений під час зміни фаз світлофорних сигналів).

- Оптимальне фазування сигналів: На основі тривалості циклу метод розподіляє зелений час для кожного руху транспорту, забезпечуючи, щоб найбільш критичні рухи отримували достатньо часу для безпечного та ефективного проходження через перехрестя.

- Мінімізація затримок: Остаточна мета - мінімізувати загальні затримки на перехресті, поліпшуючи потік транспорту та знижуючи затори.

Метод Вебстера особливо ефективний у сценаріях, де трафік відносно стабільний.

Аналіз останніх досягнень та публікацій.

Сучасні публікації щодо використання методу Вебстера в управлінні дорожнім рухом часто зосереджуються на розробці та вдосконаленні інтелектуальних систем управління трафіком. Ці дослідження включають аналіз поточних тенденцій у сфері розвитку інтелектуальних транспортних систем та їх ролі у підвищенні ефективності функціонування транспортних мереж, особливо у вирішенні нестандартних ситуацій на дорогах.

Наприклад, дослідження, яке викладено в електронно-бібліотечній системі Чернігівського державного технологічного університету, звертає увагу на сучасні наукові підходи до управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах. Автори розглядають переваги імітаційного моделювання при дослідженні роботи регульованих перехресть, використання нечіткої логіки в адаптивних алгоритмах керування та організації руху. Це важливо для визначення потреб пішоходів та громадського транспорту при розробці ефективних стратегій управління транспортними потоками [2, 3].

У цьому контексті метод Вебстера може використовуватися як частина ширшого підходу до управління дорожнім рухом, що включає інтелектуалізацію та автоматизацію транспортних систем. Це вказує на важливість інтеграції класичних методів, таких як метод Вебстера, з сучасними технологіями та інноваційними рішеннями для оптимізації руху транспорту в міських умовах.

Мета та постановка задачі дослідження.

Метою роботи є порівняльний аналіз результатів розрахунку параметрів перехрестя за методикою Вебстера, альтернативною методикою та циклом, який розраховано і впроваджено на перехресті вулиць Патріарха Мстислава та Європейська, який знаходиться в місті Полтава, Україна.

Основний матеріал та результати дослідження.

Вулицю Патріарха Мстислава можна віднести до вулиць та доріг міського значення, так як вона забезпечує під'їзд до будинків у середині мікрорайону та має вихід на магістральні вулиці. Вулицю Європейська можна віднести до магістральних вулиць загального значення, так як вона забезпечує транспортні зв'язки житлових та промислових районів між собою, а також з центром міста і має вихід на позаміські дороги. Значне утруднення в русі спостерігається з 8 до 9 години та з 17:30 до 18:30, скупчення транспортних засобів спостерігається в районі в зоні перехрестя.

На протязі тижня у різні години в різні дні розпочиналось обстеження та закінчувалось рівно через годину.

З початку обстеження рахувались транспортні засоби, які проїжджали з усіх підходів через перехрестя. Кількість транспортних засобів заносилась у бланк відповідно до категорії та напрямку руху. Позначались транспортні засоби не цифрами, а спеціальними позначеннями – “конвертиками

Спостереження за транспортними та пішохідними потоками проведено у робочий день у ранкову годину “пік” з 7:00 до 8:00.

Приведемо розрахунок по приведенню інтенсивності i -того транспортного засобу до легкового автомобілю на перехресті вулиць Європейська та Патріарха Мстислава в напрямку руху 1-2.

$$N_{np1-2} = 1 \cdot 50 + 1,5 \cdot 9 = 64. \quad (1)$$

Результати інших розрахунків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Приведена інтенсивність руху транспортних засобів на перехресті вулиць Європейська та Патріарха Мстислава

Напрямок руху	N_{1-2}	N_{1-3}	N_{1-4}	N_{2-1}	N_{2-3}	N_{2-4}	N_{3-1}	N_{3-2}	N_{3-4}	N_{4-1}	N_{4-2}	N_{4-3}
$N_{пріј, авт/год.}$	64	232	21	45	37	793	342	15	401	57	1172	231

За отриманими даними побудована картограма розподілу транспортних і пішохідних потоків при існуючій організації руху (рис. 1).



Рис. 1 – Картограма інтенсивності транспортних і пішохідних потоків на перехресті вулиць Європейська та Патріарха Мстислава

Існуюча схема ОДР зображена рис. 2, та схеми пофазного роз'їзду представлено на рисунках 3 – 4.

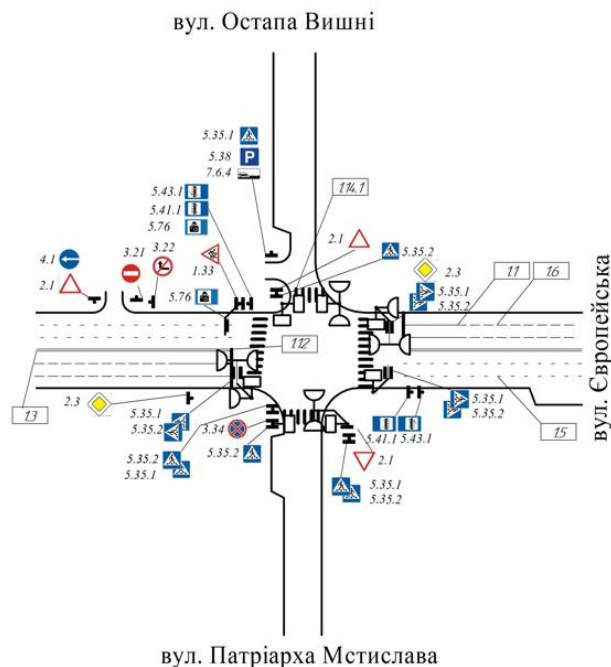


Рис. 2 – Існуюча схема ОДР на перехресті

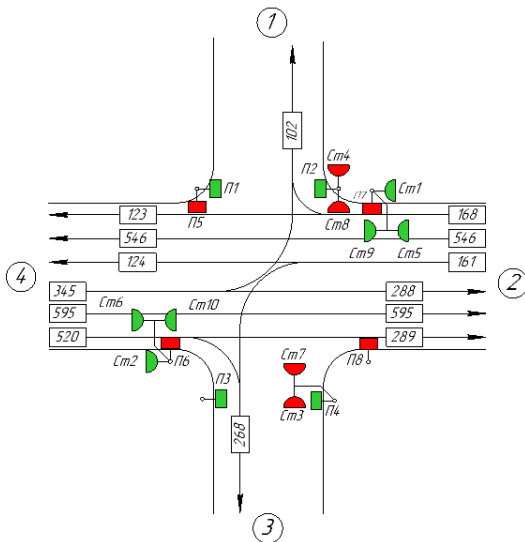


Рис. 3 - Схема першої фази

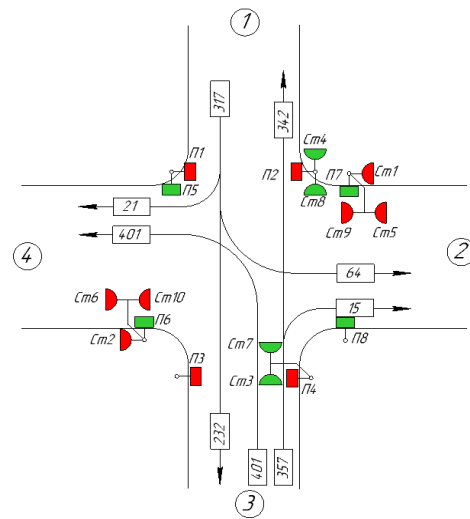


Рис. 4 – Схема другої фази

Також за допомогою методу натурних досліджень побудовано циклограму роботи світлофорних об'єктів.

Розрахунок циклу світлофорної сигналізації за методом вебстера.

Для випадків руху в прямому напрямку потік насичення $M_{nijпрям}$ розраховується по емпіричній формулі, яка пов'язує цей показник з шириною проїжджої частини, яка використовується для руху транспортних засобів в даному напрямку руху

$$M_{nijпрям} = 525 \cdot B_{нч}, \quad (2)$$

де $B_{нч}$ - ширина проїжджої частини в даному напрямку руху, м.

Для право та лівоповоротних потоків, які рухаються по спеціально виділеним смугам руху потік насичення $M_{nijпов}$ розраховується в залежності від радіуса повороту транспортних засобів для однорядного руху за формулою

$$M_{nij} = \frac{1800}{1 + \frac{1,525}{R}}, \quad (3)$$

де R – радіус повороту транспортних засобів, м.

Радіус повороту транспортних засобів визначається по плану перехрестя.

Для випадків руху транспортних засобів прямо, а також ліворуч та (або) праворуч по одним і тим же смугам руху, потік насичення розраховується за формулою

$$M_{nij} = M_{nijпрям} \cdot \frac{100}{a + 1.75 \cdot b + 1.25 \cdot c}, \quad (4)$$

де a - інтенсивність руху транспортних засобів прямо в співвідношенні; b - інтенсивність руху транспортних засобів ліворуч в співвідношенні; c - інтенсивність руху транспортних засобів праворуч в співвідношенні.

$$a = (N_a \cdot 100) / N_j, \quad (5)$$

$$b = (N_b \cdot 100) / N_j, \quad (6)$$

$$c = (N_c \cdot 100) / N_j, \quad (7)$$

де $N_{a,b,c}$ – інтенсивність транспортних потоків, що рухаються прямо, ліворуч, праворуч відповідно, авт/год; N_j – інтенсивність транспортних потоків у підході, авт/год.

Проводимо розрахунок потоку насичення:

-для напрямку руху 3-4 розрахунок проводимо по формулі (2)

$$M_{n2-4\text{прямо}} = 525 \cdot 3,5 = 1838.$$

-для напрямку руху 3-4 розрахунок проводимо по формулі (3)

$$M_{n_{ij}} = \frac{1800}{1 + \frac{1,525}{9}} = 1539.$$

-для напрямку руху 2-1-4 розрахунок проводимо по формулі (3.3)

$$a = (123 \cdot 100) / 168 = 73,21,$$

$$c = (45 \cdot 100) / 168 = 26,79,$$

$$M_{n_{2-1-4}} = 1838 \cdot \frac{100}{73,21 + 1,75 \cdot 0 + 1,25 \cdot 26,79} = 1723.$$

Аналогічно проводимо розрахунки для інших напрямків, результати розрахунків зводимо в таблицю 2.

Таблиця 2 – Розрахунок потоку насичення

№ фази	Напрямок руху	Частка авто, що рухаються прямо. а, %.	Частка авто, що рухаються ліворуч. б, %.	Частка авто, що рухаються праворуч. с, %.	Радіус повороту транспортних засобів. R, м.	Потік насичення. M_{ij} , авт/год.
I	2-1-4	73,21	-	26,79	-	1722
	2-4	100	-	-	-	1838
	2-3-4	77,02	22,98	-	-	1568
	4-1-2	83,48	16,52	-	-	1635
	4-2	100	-	-	-	1838
	4-3-2	55,58	-	44,42	-	1654
II	1-2-3-4	73,19	20,19	6,62	-	1798
	3-2-1	95,8	-	4,2	-	2078
	3-4	-	100	-	-	1539

Фазовий коефіцієнт y_{ij} визначається для кожного напрямку руху на перехресті в даній фазі регулювання за формулою:

$$y_{ij} = \frac{N_{ij}}{M_{ij}}, \quad (8)$$

де N_{ij} – інтенсивність руху в j -ом напрямку руху i -ої фази регулювання, авт./год.

Проводимо розрахунок фазового коефіцієнту в першій фазі для напрямку руху 2-1-4

$$y_{2-1-4} = \frac{168}{1722} = 0,098.$$

Аналогічно проводимо розрахунки для інших напрямків.

За розрахунковий фазовий коефіцієнт Y_i (який визначає тривалість основного такту) приймають найбільше значення фазового коефіцієнту в даній фазі регулювання y_{ij} . Менше значення можуть бути використані в подальшому для визначення мінімально необхідної тривалості дозволяючого сигналу в відповідних цим коефіцієнтам напрямках руху.

При пофазному регулюванні і пропуску будь-якого транспортного потоку на протязі двох фаз та більше для нього окремо розраховують фазовий коефіцієнт, який незалежно від значення не приймають в якості розрахункового. Але цей фазовий коефіцієнт повинен бути не більше суми розрахункових фазових коефіцієнтів тих фаз, на протязі яких цей потік пропускається. Якщо ця умова не виконується, то оди із розрахункових фазових коефіцієнтів, що входять в цю суму, повинен бути штучно збільшений.

В відповідності с призначенням проміжного такту його тривалість повинна бути такою, щоб транспортний засіб, що підходить до перехрестя на зелений сигнал зі швидкістю вільного руху, при зміні сигналу с зеленого на жовтий зміг чи зупинитися біля стоп-лінії, чи встигнути звільнити перехрестя. Зупинитися біля стоп-лінії транспортний засіб зможе лише в тому випадку, якщо відстань від нього до стоп-лінії на проїзній частині буде рівним або більшим зупиночного шляху.

С урахуванням цього, а також припущення про постійне сповільнення при гальмуванні транспортного засобу перед стоп-лінією формулу для визначення тривалості проміжного такту t_{ni} , с., можна представити в наступному вигляді [1]

$$t_{ni} = \frac{U_a}{(7,2 \cdot a_T)} + \frac{3,6(l_i + l_a)}{U_a}, \quad (9)$$

де U_a - середня швидкість транспортного засобу при русі на підході до перехрестя та в зоні перехрестя без гальмування, км/год; a_T - середнє уповільнення транспортного засобу при ввімкненні забороняючого сигналу (для практичних розрахунків $a_T = 3 \div 4 \text{ м/с}^2$); l_i – відстань від стоп-лінії до самої дальньої конфліктної точки, м; l_a – довжина транспортного засобу, який найчастіше зустрічається в потоці, м.

Проводимо розрахунок тривалості проміжного такту для першої фази

$$t_{n1} = \frac{35}{(7,2 \cdot 4)} + \frac{3,6 \cdot (14,6 + 5)}{35} = 3,23 \text{ с.}$$

Приймаємо $t_{n1} = 3 \text{ с.}$

Проводимо розрахунок тривалості проміжного такту для другої фази

$$t_{n1} = \frac{35}{(7,2 \cdot 4)} + \frac{3,6 \cdot (19,1 + 5)}{35} = 3,69 \text{ с.}$$

Приймаємо $t_{n2} = 4 \text{ с.}$

В період додаткового такту закінчують рух пішоходи, які раніше переходили вулицю на дозволяючий сигнал світлофора. За час t_{ni} пішохід повинен або повернутися на тротуар, звідки він почав рух, або дійти до середини проїзної частини (острівку безпеки, центральної розділювальної смуги, розділювальної потоки зустрічних напрямків).

Максимальний час, який знадобиться для цього пішоходу $t_{ni(nu)}$, с., розраховується по формулі

$$t_{ni(nu)} = \frac{B_{nu}}{4 \cdot U_{nu}}, \quad (10)$$

де B_{nu} – ширина проїзної частини, яку перетинає пішохід в певній фазі регулювання, м; U_{nu} – розрахункова швидкість руху пішоходів (приймається рівною 1,3 м/с).

Проводимо розрахунок:

- для першої фази

$$t_{n1(nu)} = t_{n1(nu)} = \frac{12}{4 \cdot 1,3} = 1,73 = 2,31 \text{ с,}$$

$$t_{n1(\text{mm})} = t_{n1(\text{nu})} = \frac{8}{4 \cdot 1,3} = 1,73 = 1,54 \text{ с.}$$

- для другої фази

$$t_{n3(\text{mm})} = t_{n1(\text{nu})} = \frac{21}{4 \cdot 1,3} = 1,73 = 4,04 \text{ с.}$$

В якості додаткового такту вибирається найбільше значення із t_{ni} та $t_{ni(\text{nu})}$.

Виходячи з вимог безпеки руху тривалість проміжних тактів у кожній фазі приймають $t_n = 4 - 4 \text{ с.}$ незалежно від розрахункового значення.

У подальших розрахунках приймаємо 4 с.

Для розрахунку тривалості циклу світлофорного регулювання T_u , с., на перехресті із випадковим прибуттям транспортних засобів використовується формула Ф. Вебстера

$$T_u = \frac{(1,5 \cdot T_n) + 5}{(1 - Y)}, \quad (11)$$

де $T_{\Pi} = \sum_{i=1}^k t_{\Pi i}$ - сума тривалості проміжних тактів t_{ni} ; k - число фаз регулювання; $Y = \sum_{i=1}^k y_i$ - сума розрахункових фазових коефіцієнтів.

$$T_{\Pi} = 4 + 4 = 8.$$

$$Y = 0,324 + 0,261 = 0,585.$$

$$T_u = \frac{(1,5 \cdot 8) + 5}{(1 - 0,585)} = 41.$$

З міркувань безпеки руху тривалість циклу світлофорного регулювання більше 120 секунд вважається недопустимим, так-як водії при тривалому чеканні дозволяючого сигналу можуть порахувати світлофор несправним і почати рух на забороняючий сигнал. Якщо розрахункове значення тривалості циклу світлофорного регулювання перевищує 120 с, необхідно зменшити тривалість циклу світлофорного регулювання. По тим же міркуванням недоцільно приймати тривалість циклу менше 25 с.

Тривалість основного такту t_{oi} , с., в i -й фазі регулювання пропорційне розрахунковому фазовому коефіцієнту цієї фази. Тому, якщо сума основних тактів дорівнює $T_u - T_n$, то тривалість основного такту визначається по формулі

$$t_{oi} = \frac{(T_u - T_n) y_i}{Y}, \quad (12)$$

З міркувань безпеки руху тривалість основного такту звичайно приймають не менше семи секунд. Якщо тривалість основного такту менше семи секунд ймовірність ланцюгових дорожньо-транспортних пригод при роз'їзді на дозволяючий сигнал світлофора. Тому, якщо тривалість основного такту, розрахована по формулі (12), виходить менше семи секунд, її збільшити до мінімально допустимої.

Проводимо розрахунок тривалості основного такту для першої фази

$$t_{o1} = \frac{(41 - 8) \cdot 0,324}{0,585} = 18.$$

Проводимо розрахунок тривалості основного такту для другої фази

$$t_{o2} = \frac{(41 - 8) \cdot 0,261}{0,585} = 15.$$

Час необхідний для пропуску пішоходів по якомусь визначеному напрямку t_{nu} , с, розраховується по формулі 13).

$$t_{nu} = 5 + \frac{B_{пш}}{U_{пш}}, \quad (13)$$

Проводимо розрахунок:

- для першої фази

$$t_{nu1} = 5 + \frac{12}{1,3} = 14,$$

$$t_{nu2} = 5 + \frac{8}{1,3} = 11.$$

- для другої фази

$$t_{nu3} = 5 + \frac{21}{1,3} = 21.$$

Час необхідний для переходу перехрестя пішоходами в другій фазі складає 21 с, тому приймаємо $t_{оп}$ для другої фази 21 с, а тривалість циклу 47 с.

Збільшимо тривалість циклу кратно двом. Отже тривалість першої фази приймемо 36 с, другої фази 42 с і для лівопоротного маневру в другій фазі виділимо 12 с.

Розрахунок циклу світлофорної сигналізації за альтернативною метою.

Метода описана у "Посібнику по уніфікованих засобах регулювання дорожнього руху для Канади". Вона пропонує табличну форму інженерного розрахунку режимів жорсткого світлофорного регулювання.

Методика дещо відрізняється в плані дослідження транспортних потоків, що передусе розрахункам. У "Посібнику" вводиться поняття еквівалентної інтенсивності руху, яке призначене для уніфікації умов руху на різних перехрестях в плані кількості смуг руху, поворотних маневрів і складу транспортного потоку. Еквівалентна інтенсивність руху в розрахунку на одну смугу руху для кожного підходу до перехрестя, еkv.авт./год:

$$N_e = \frac{N + 0,5H + 0,6l + 0,4R}{n}. \quad (14)$$

де N - загальна, фактична інтенсивність на даному підході, авт./год; H - кількість вантажних ТЗ, автобусів на підході, авт./год; l - кількість лівих поворотів з даного підходу, од/год; R - кількість правих поворотів з даного підходу, од/год; n - кількість /умовна/ смуг на даному підході.

Посібник містить таблицю тривалостей фаз, які являють суму тривалостей зеленого і жовтого сигналів, що необхідна для забезпечення ймовірності того, що всі ТЗ, які прибувають до перехрестя протягом циклу, можуть звільнити перехрестя протягом наступного зеленого сигналу. Якщо відоме значення еквівалентної інтенсивності руху /екv.авт./год/ в напрямку з максимальною інтенсивністю для кожної фази регулювання, то тривалість будь-якої фази може бути визначена за таблицею.

Зрозуміло, що така методика істотно спрощує розрахунки режимів СФР, проте вона дає й більшу похибку /у бік завищення циклу/.

Розрахуємо еквівалентні інтенсивності для всіх підходів.

Підхід 1

$$N = 50 + 9 + 189 + 18 + 5 + 1 + 16 + 3 = 291;$$

$$H = 9 + 18 + 5 + 3 = 35;$$

$$f = 50 + 9 = 59;$$

$$R = 16 + 3 = 19;$$

$$n = 1.$$

$$N_{e1} = \frac{291 + 0,5 \cdot 35 + 0,6 \cdot 59 + 0,4 \cdot 19}{1} = 351,5.$$

Підхід 2

$$N = 10 + 4 + 22 + 4 + 123 + 13 = 176;$$

$$H = 342 + 22 + 4 + 123 + 13 + 3 + 334 + 38 = 578;$$

$$f = 19 + 10 + 4 = 33;$$

$$R = 36 + 2 = 38;$$

$$n = 1.$$

$$N_{e2} = \frac{578 + 0,5 \cdot 176 + 0,6 \cdot 33 + 0,4 \cdot 38}{3} = 233,7.$$

Підхід 3

$$N = 275 + 24 + 4 + 4 + 2 + 2 + 1 + 9 + 2 + 334 + 19 + 6 + 147 + 1 = 691;$$

$$H = 24 + 4 + 4 + 2 + 2 + 19 + 6 + 1 + 7 = 69;$$

$$f = 334 + 19 + 6 + 1 + 7 + 1 = 368;$$

$$R = 9 + 2 = 11;$$

$$n = 2.$$

$$N_{e3} = \frac{691 + 0,5 \cdot 69 + 0,6 \cdot 368 + 0,4 \cdot 11}{2} = 475,4.$$

Підхід 4

$$N = 51 + 4 + 765 + 41 + 2 + 1 + 100 + 12 + 6 + 215 + 5 + 2 = 1209;$$

$$H = 4 + 41 + 2 + 1 + 100 + 125 = 165;$$

$$f = 51 + 4 = 55;$$

$$R = 2155 + 7 = 227;$$

$$n = 3.$$

$$N_{e4} = \frac{1209 + 0,5 \cdot 165 + 0,6 \cdot 55 + 0,4 \cdot 227}{3} = 471,8.$$

Приймаємо рішення залишити двофазний цикл регулювання.

1 фаза

$$N_{e2} = 233,7 \text{ од/год};$$

$$N_{e4} = 471,8 \text{ од/год}.$$

$$N_{max} = N_{e1} + N_{e3} = 351,5 + 475,4 = 826,9 \text{ од/год}.$$

$$t_{o2n} = 24 \text{ с};$$

$$t_{o4n} = 49 \text{ с}.$$

2 фаза

$$N_{e1} = 351,5 \text{ од/год};$$

$$N_{e3} = 475,4 \text{ од/год}.$$

$$N_{max} = N_{e2} + N_{e4} = 233,7 + 471,8 = 705,5 \text{ од/год}.$$

$$t_{o1n} = 28 \text{ с};$$

$$t_{o3n} = 43 \text{ с}.$$

Визначимо тривалість додаткових тактів, в першій і другій фазі вони рівні по 4 с.

Отже тривалість першої фази прийемо 49 с., другої фази 43 с. і для лівопоротного маневру в другій фазі виділимо 12 с. Тривалість додаткових тактів по 4 с., вцілому тривалість циклу складе 100 с.

Висновки.

Проаналізувавши циклограми можна зробити висновок, що розрахунок циклу за альтернативною методою більш наближений до існуючого циклу роботи світлофорних об'єктів.

Список літератури

1. Організація дорожнього руху. Методичні поради. – Полтава.: ПФКТБ, 2021.
2. В.П. Поліщук Організація та регулювання дорожнього руху – Київ: «Знання України» 2016.
3. Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко Організація дорожнього руху Книга 4 – Київ: «Знання України» 2007.
4. Правила дорожнього руху України 2022 з коментарями та ілюстраціями. Навчальний посібник. ТОВ «Видавництво «Моноліт».
5. ДСТУ 2587:2021 Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови.
6. ДСТУ 4100:2021 Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування.

References (transliterated):

1. Orhanizatsiia dorozhnoho rukhu. Metodychni porady. – Poltava.: PFKTB, 2021.
2. V.P. Polishchuk Orhanizatsiia ta rehuliuвання dorozhnoho rukhu – Kyiv: «Znannia Ukrainy» 2016.
3. E.V. Havrylov, M.F. Dmytrychenko Orhanizatsiia dorozhnoho rukhu Knyha 4 – Kyiv: «Znannia Ukrainy» 2007.
4. Pravyly dorozhnoho rukhu Ukrainy 2022 z komentariamy ta iliustratsiiami. Navchalnyi posibnyk. TOV «Vydavnytstvo «Monolit».
5. DSTU 2587:2021 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Rozmitka dorozhnia. Zahalni tekhnichni umovy.
6. DSTU 4100:2021 Bezpeka dorozhnoho rukhu. Znakyy dorozhni. Zahalni tekhnichni umovy. Pravyly zastosuvannia.

Надійшла (received) 18.04.2024 p.

Відомості про авторів / About the Authors

Степанов Олексій Вікторович (Stepanov Oleksii) – Національний університет біоресурсів та природокористування України, професор кафедри тракторів, автомобілів та біоенергоресурсів, м. Київ, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4954-2532>; e-mail: as7703096@gmail.com

Кулай Павло Леонтійович (Kulai Pavlo) – Полтавський фаховий коледж транспортного будівництва, викладач-методист, м. Полтава, Україна; e-mail: pkulaychik@gmail.com

Кулай Володимир Павлович (Kulai Volodymyr) – Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки, «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», аспірант кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки, м. Полтава, Україна; e-mail: lykym339@gmail.com

Волобуєва Тетяна Вячеславівна (Volobueva Tetyana) – Одеська державна академія будівництва та архітектури, доцент кафедри машинобудування, м. Одеса, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0340-3326>; e-mail: volobueva@odaba.edu.ua

Калінін Євген Іванович (Kalinin Yevgen) – Національний університет біоресурсів та природокористування України, завідувач кафедри тракторів, автомобілів та біоенергоресурсів, м. Київ, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6191-8446>; e-mail kalinin@nubip.edu.ua