

УДК 656.13

**В.А. Городокин, З.В. Альметова, О.В. Леонова**

Южно-Уральский государственный университет  
(Национальный исследовательский университет),  
Челябинск, Россия

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ СВЕТОФОРНОГО ОБЪЕКТА ПО ОСНОВНЫМ ТАКТАМ ЦИКЛА**

Перекресток является одним из наиболее сложных и опасных узлов улично-дорожной сети и местом с наибольшей концентрацией конфликтных точек. Существующая в настоящее время система расчетов цикла работы светофорных объектов на перекрестках в большинстве случаев не обеспечивает беззастойное и безопасное прохождение транспортным потоком перекрестков в пиковые часы нагрузок. В то же время именно перекрестки являются местом концентрации аварийно-опасных участков и дорожно-транспортных происшествий. Решению указанной проблемы посвящена данная статья, в которой с целью увеличения пропускной способности и уменьшения вероятности совершения дорожно-транспортного происшествия авторы предлагают новую методику расчета одного из элементов цикла работы светофорного объекта – основного такта. Предлагаемая методика базируется на экспертном расчете, при выполнении которого основное внимание уделяется: во-первых, необходимости сохранения возможности в течение одного цикла въезда на перекресток всех транспортных средств, подъехавших к перекрестку с каждого из конфликтующих направлений, в том числе с самого нагруженного; во-вторых, использованию в расчетах темпа замедления транспортных средств, именуемого в Правилах дорожного движения «не прибегая к экстремному торможению»; в-третьих, использованию понятия фазовых коэффициентов при расчете основных тактов менее нагруженных направлений. В качестве завершающего этапа расчета основного такта авторами предложен проверочный расчет, корректирующий полученный результат, исходя из возможностей перехода проезжей части пешеходами и проезда трамваями, для которых определенное время расчета может оказаться недостаточным для безопасного движения.

**Ключевые слова:** основной такт цикла работы светофорного объекта, «не прибегая к экстремному торможению», фазовые коэффициенты, безопасность дорожного движения.

**V.A. Gorodokin, Z.V. Almetova, O.V. Leonova**

South Ural State University (National Research University),  
Chelyabinsk, Russian Federation

## **OPTIMIZATION OF WORK OF TRAFFIC LIGHTS ON THE MAIN BEATS OF THE CYCLE**

The intersection is one of the most difficult and dangerous of nodes of the road network and the location with the highest concentration of conflict points. The current system of calculation of working cycle traffic lights at intersections in the vast majority of cases does not provide bassatine and safe passage of traffic intersections in peak hours of load. At the same time, it is the crossroads are a place of concentration disaster-prone areas and road accidents. The solution to this problem is the subject of this article in which to increase throughput and reduce the probability of committing a traffic accident, the authors propose a new method of calculating one element in a work cycle of a traffic light – the basic cycle. The proposed method is based on expert calculation, which focuses on, firstly, the need to maintain capabilities within one cycle of entering the intersection all the vehicles approached the

intersection with each of the conflicting directions, including from the loaded, second, the use in calculations of the rate of deceleration of the vehicle, referred to in the rules of the road as «without resorting to emergency braking», thirdly, the use of the concept of the phase coefficients in the calculation of basic cycles less loaded areas. As the final part of the calculation of the basic clock cycle the authors propose a checking calculation, correcting the result based on the capabilities of transition of the carriageway pedestrians and travelling by tram, which is specified by the calculation time may be insufficient for safe driving.

**Keywords:** the main cycle operation cycle of a traffic light, without resorting to emergency braking, phase coefficients, and traffic safety.

## Введение

Решение общих задач беззаторного прохождения автомобильным транспортом элементов улично-дорожной сети (УДС) – одна из важнейших проблем, связанных с эксплуатационными потерями в отрасли. Повышение эффективности работы светофорного объекта неразрывно связано с оптимизацией пропускной способности всего регулируемого узла УДС, включающей: рациональное и полное использование цикла работы светофорного объекта, приведение в соответствие требованиям нормативных документов таких элементов дороги, как ширина проезжей части, ширина и количество полос, предназначенных для движения транспортных средств; организацию и обустройство дороги островками безопасности и направляющими островками; установку дорожных знаков и нанесение дорожной разметки [1–7]. При этом расчет цикла работы светофорного объекта является одним из немногих возможных мероприятий, позволяющих повысить эффективность работы автомобильных перевозок и уменьшить вероятность совершения дорожно-транспортных происшествий при минимальных финансовых затратах. Это может быть достигнуто за счет более правильного и научно обоснованного расчета основного и промежуточного тактов работы светофорного объекта. Решению одной из указанных задач посвящена данная статья.

### 1. Предлагаемый расчет основного такта цикла работы светофорного объекта

Принимая во внимание тот факт, что согласно действующим методическим рекомендациям [8–15] продолжительность полного цикла работы светофорного объекта не должна превышать 120 с, и, соответственно, зная часовую интенсивность исследуемого направления движения транспортных средств ( $N_a$ ), можно определить количество транспортных средств, прибывающих к перекрестку за указанный отрезок времени ( $N_a^t$ ):

$$N_a^i = \frac{N_a \cdot 120}{3600}, \quad (1)$$

где  $N_a^i$  – интенсивность транспортного потока исследуемого направления за время цикла, ед./120 с;  $N_a$  – часовая интенсивность транспортного потока исследуемого направления, авт./ч.

В свою очередь, продолжительность времени единичного основного такта цикла работы светофорного объекта определяется стоящей задачей: обеспечить данное направление необходимым отрезком времени для въезда на пересечение проезжих частей всех транспортных средств, подъехавших к перекрестку за время цикла. Время, необходимое конкретному последнему, подъехавшему к перекрестку транспортному средству для получения права въезда на перекресток, напрямую зависит от расстояния, которое оно должно преодолеть с момента возобновления движения на разрешающий сигнал светофора до момента включения запрещающего (желтого) сигнала. Место расположения последнего в очереди автомобиля от стоп-линии ( $S_{\text{въезда}}^i$ ) определяется по следующей формуле:

$$S_{\text{въезда}}^i = n_i \cdot (B + l), \quad (2)$$

где  $n_i$  – количество автомобилей на одной полосе движения, подъехавших к перекрестку за время одного цикла работы светофорного объекта, ед.;  $B$  – средняя длина легкового автомобиля (в расчетах может быть принята равной 4,5 м);  $l$  – средняя дистанция между автомобилями, стоящими перед перекрестком на запрещающий сигнал светофора (в расчетах может приниматься равной 1 м).

$$n_i = \frac{N_a^i}{c}, \quad (3)$$

где  $N_a^i$  – интенсивность транспортного потока исследуемого направления за время цикла, ед./120 с;  $c$  – количество полос проезжей части, предназначенных для движения в данном направлении, ед.

С учетом темпа разгона и задержки перед началом движения,  $i$ -й в очереди на конкретной полосе автомобиль достигнет места, дающего ему право на продолжение движения через перекресток через  $t_{oi}$  (с), которое по смыслу совпадает с продолжительностью основного такта.

$$t_{oi} = \sqrt{\frac{2 \cdot (S_{\text{въезда}}^i - S_{\text{ожг}})}{a}} + t_{\text{задерж}}^i, \quad (4)$$

где  $(S_{\text{въезда}}^i - S_{\text{ожки}})$  – расстояние, преодолеваемое автомобилем, находящимся последним в очереди, с момента начала движения на разрешающий сигнал светофора до момента достижения границы, начиная с которой водитель не будет располагать технической возможностью остановить транспортное средство до места, установленного Правилами дорожного движения (стоп-линия, пешеходный переход, граница пересекаемой проезжей части). В данном случае таковым местом следует считать стоп-линию), м;  $a$  – ускорение автомобиля,  $\text{м/с}^2$  (для практических расчетов принимается  $1,5 \text{ м/с}^2$ );  $t_{\text{задерж}}^i$  – время задержки начала движения последнего в очереди автомобиля, с;

$$t_{\text{задерж}}^i = n_i \cdot t_{\text{задерж}}^{\text{cp}} \quad (5)$$

где  $t_{\text{задерж}}^{\text{cp}}$  – средняя продолжительность времени задержки начала движения каждого автомобиля, находящегося в очереди, с (в расчетах может быть принята  $1,0$  с);  $S_{\text{ожки}}$  – дальность расположения транспортного средства относительно границы, регламентированной Правилами дорожного движения, по достижении которой водитель транспортного средства не располагает технической возможностью остановиться и получает право продолжить движение через перекресток, м.

$$S_{\text{ожки}} = (t_1 + t_2 + 0,5t_3) \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26 \cdot J_{\text{ж}}}, \quad (6)$$

где  $V_a$  – наиболее вероятная скорость последнего в очереди транспортного средства, достигнутая им к моменту включения запрещающего сигнала светофора,  $\text{км/ч}$  (для практических расчетов принимается  $40 \text{ км/ч}$ );  $J_{\text{ж}}$  – среднее замедление транспортного средства при включении запрещающего (желтого) сигнала,  $\text{м/с}^2$  (для сухого асфальтового покрытия в практических расчетах принимается  $4,6 \text{ м/с}^2$ );  $t_1$  – время реакции водителя транспортного средства в сложившейся дорожно-транспортной ситуации, с (для практических расчетов принимается  $0,6$  с);  $t_2$  – время запаздывания срабатывания тормозного привода транспортного средства, с (для практических расчетов принимается  $0,1$  с);  $t_3$  – время нарастания замедления транспортного средства в данных дорожных условиях, с (для практических расчетов принимается  $0,35$  с).

Таким образом, продолжительность времени, необходимого для въезда на перекресток последнего в очереди автомобиля, будет определять время основного такта соответствующего направления, позво-

ляющего обеспечить беззатонный проезд через перекресток подъехавших к нему транспортных средств, с учетом его конфигурации и количества полос, предназначенных для движения в данном направлении.

## **2. Корректировка основного такта одной из фаз работы светофорного объекта**

Во-первых, согласно методическим рекомендациям по организации движения с точки зрения безопасности движения время основного такта в любой фазе не должно быть менее 7 с. Таким образом, расчетное время основного такта в любой фазе работы светофорного объекта, имеющего время включения менее 7 с, должно быть скорректировано до указанного значения.

Во-вторых, необходимо оценить возможность перехода пешеходами проезжей части за время включения для них разрешающего сигнала светофора. В случае невозможности завершить переход проезжей части пешеходами, начинающими движение с момента включения разрешающего сигнала светофора, необходимо или увеличить продолжительность основного такта до требуемой величины, или изменить характер движения пешеходов через проезжую часть путем обустройства проезжей части островками безопасности и организации перехода пешеходами одного направления движения транспортных средств с остановкой на островке безопасности.

Продолжительность времени ( $t_{\text{пш}}$ ), достаточного для перехода пешеходами проезжей части, рассчитывается по формуле

$$t_{\text{пш}} = 5 + \frac{S_{\text{пш}}}{V_{\text{пш}}}, \quad (7)$$

где  $S_{\text{пш}}$  – расстояние, преодолеваемое пешеходом при пересечении проезжей части на разрешающий сигнал светофора, м;  $V_{\text{пш}}$  – средняя скорость пешеходов при пересечении проезжей части на разрешающий сигнал светофора, м/с (в расчетах принимается равной 1,3 м/с).

Корректировка расчета продолжительности основного такта ( $t_0$ ) на возможность трамвая преодолеть перекресток ( $t_{\text{тр}}$ ):

$$t_{\text{тр}} = \left[ 3,6(l_i + l_{\text{тр}}) \right] / V_{\text{тр}}, \quad (8)$$

где  $l_i$  – отрезок пути, преодолеваемый трамваем от стоп-линии до самой дальней конфликтной точки (ДКТ) с транспортными средствами,

начинающими движение в следующей фазе, м (принимается в зависимости от размеров и конфигурации перекрестка);  $l_{\text{тр}}$  – длина трамвайного поезда (секции), м, длина вагона КТМ-5 в расчетах может быть принята равной 15 м;  $V_{\text{тр}}$  – средняя скорость трамвайного поезда в пределах перекрестка (в расчетах может быть принята равной 20 км/ч).

Общая продолжительность основных тактов составит:

$$\sum T_{oi} = t_{o1} + t_{o2} + \dots + t_{oi}, \quad (9)$$

где  $t_{o1}, t_{o2}, t_{oi}$  – продолжительность основных тактов всех направлений движения в соответствующих фазах работы светофорного объекта.

Расчет продолжительности времени основных тактов цикла по другим направлениям целесообразно проводить исходя из пропорциональности интенсивности транспортных потоков. Данный параметр в методической литературе именуется фазовым коэффициентом, физическая величина которого представляет собой соотношение интенсивности наиболее нагруженного транспортного потока, приходящегося на одну полосу движения, и интенсивности транспортного потока, приходящегося на одну полосу по другому направлению,

$$Y_i = \frac{N_{ai} \cdot c_1}{N_{a1} \cdot c_i}, \quad (10)$$

где  $N_{a1}$  – интенсивность транспортного потока самого нагруженного направления за время цикла, ед./120 с;  $c_1$  – количество полос проезжей части, предназначенных для движения в самом нагруженном направлении, ед.;  $N_a^i$  – интенсивность транспортного потока по одному из исследуемых направлений за время цикла, ед./120 с;  $c_i$  – количество полос проезжей части, предназначенных для движения по одному из исследуемых направлений, ед.

Соответственно, продолжительность основных тактов в других фазах должна находиться в тех же пропорциях относительно самого нагруженного направления, что и расчетные фазовые коэффициенты.

$$t_{oi} = Y_i \cdot t_{o1}. \quad (11)$$

На заключительном этапе для получения более точного значения цикла работы светофорного объекта при полученной расчетной продолжительности цикла менее 120 с, принятой за максимальную в начале расчета, необходимо проведение дополнительной корректировки

основного такта наиболее нагруженного направления и, соответственно, основных тактов по другим направлениям.

Как было указано авторами в других работах, попытка произвести расчет основного такта по формулам Ф. Вебстера на перекрестках с высокой степенью интенсивности транспортного потока и значительной шириной проезжей части приводит к значениям, которые с точки зрения организации движения использовать не представляется возможным.

Предлагаемый подход к расчету основного такта работы светофорного объекта по наиболее нагруженному направлению лишен недостатков методики, применявшейся ранее, и позволяет с максимальной степенью эффективности организовать прохождение транспортным потоком перекрестка, как одного из наиболее сложных элементов улично-дорожной сети.

### Список литературы

1. Городокин В.А., Альметова З.В. О некоторых проблемах безопасности пешеходов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – С. 231–237.
2. Коноплянко В.И. Организация и безопасность движения: учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 2007. – 383 с.
3. Кременец Ю.А., Печерский М.П., Афанасьев М.Б. Технические средства организации дорожного движения: учебник для вузов. – М.: Академкнига, 2005. – 279 с.
4. Кременец Ю.А., Печерский М.П. Технические средства регулирования дорожного движения: учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1981. – 252 с.
5. Правила дорожного движения Российской Федерации. – М.: ООО ИДТР, 2012. – 64 с.
6. Транспортная логистика: учебник / под общ. ред. Л.Б. Миротина. – 2-е изд., стер. – М.: Экзамен, 2005. – 512 с.
7. Carroll M.T., Dean R.D. A Bayesian Approach to Plant-Location Decisions // Decision Sciences. – 1980. – January. – 87 p.
8. Альметова З.В. Автомобильные дороги: учеб. пособие / под ред. Л.С. Глухих; М-во образования Рос. Федерации, Юж.-Урал. гос. ун-т. – Челябинск, 2003. – 68 с.
9. Альметова З.В. Пути сообщения, технологические сооружения: метод. указания. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2011. – 41 с.

10. Городокин В.А., Кудрявцева А.В. Установление причинно-следственных связей между действием (бездействием) участников дорожного движения и событием – дорожно-транспортным происшествием: моногр. – М.: Юрлит-информ, 2015. – 192 с.
11. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Экспертиза ДТП: справ. – СПб.: ДНК, 2006. – 189 с.
12. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.
13. Судебная автотехническая экспертиза: учеб.-метод. пособие для экспертов, судей, следователей, дознавателей и адвокатов / под ред. В.А. Иларионова. – М.: Судэкс, 2014. – 156 с.
14. Суворов Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. Судебно-экспертная оценка действий водителей и других лиц, ответственных за обеспечение безопасности дорожного движения, на участках ДТП: учеб. пособие. – М.: Экзамен, 2003. – 208 с.
15. Типовые экспертные методики исследования вещественных доказательств. Ч. 1 / под ред. канд. техн. наук Ю.М. Дильдина. – М.: ИНТЕРКРИМ–ПРЕСС, 2010. – 568 с.

### References

1. Gorodokin V.A., Al'metova Z.V. O nekotorykh problemakh bezopasnosti peshekhodov [On some problems of pedestrian safety]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: "Modernizatsiia i nauchnye issledovaniia v transportnom komplekse"*. Perm': Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2015, pp. 231-237.
2. Konoplianko V.I. Organizatsiia i bezopasnost' dvizheniia [Organization and traffic safety]. Moscow: Vysshaia shkola, 2007. 383 p.
3. Kremenets Iu.A., Pecherskii M.P., Afanas'ev M.B. Tekhnicheskie sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniia: uchebnik dlia vuzov [Technical means of traffic management: a textbook for high schools]. Moscow: Akademkniga, 2005. 279 p.
4. Kremenets Iu.A., Pecherskii M.P. Tekhnicheskie sredstva regulirovaniia dorozhnogo dvizheniia [Technical means of traffic management]. Moscow: Transport, 1981. 252 p.
5. Pravila dorozhnogo dvizheniia Rossiiskoi Federatsii [Rules of the road of the Russian Federation]. Moscow: ООО "IDTR", 2012. 64 p.



6. Transportnaia logistika [Transport logistics]. Ed. L.B. Mirotin. Moscow: Ekzamen, 2005. 512 p.
7. Carroll T.M., Dean R.D. A Bayesian Approach to Plant-Location Decisions. Decision Sciences, 1980, January. 87 p.
8. Al'metova Z.V. Avtomobil'nye dorogi [Highways]. Ed L.S. Glukhikh. Cheliabinsk: Iuzhno-Ural'skii gosudarstvennyi universitet, 2003. 68 p.
9. Al'metova Z.V. Puti soobshcheniia, tekhnologicheskie sooruzheniia [Means of communication, technological facilities]. Cheliabinsk: Iuzhno-Ural'skii gosudarstvennyi universitet, 2011. 41 p.
10. Gorodokin V.A., Kudriavtseva A.V. Ustanovlenie prichinno-sledstvennykh svyazei mezhdu deistviem (bezdeistviem) uchastnikov dorozhnogo dvizheniia i sobytiem – dorozhno-transportnym proishestviem [Establishing a causal link between the actions (or inaction) of road users and the event – road transport events]. Moscow: Iurlit-inform, 2015. 192 p.
11. Evtiukov S.A., Vasil'ev Ia.V. Ekspertiza DTP [Examination of the accident]. Saint-Petersburg: DNK, 2006. 189 p.
12. Ilarionov V.A. Ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshestvii [Examination of road accidents]. Moscow: Transport, 1989. 255 p.
13. Sudebnaia avtotekhnicheskaia ekspertiza [Judicial autotechnical examination]. Ed. V.A. Ilarionov. Moscow: Sudeks, 2014. 156 p.
14. Suvorov Iu.B. Sudebnaia dorozhno-transportnaia ekspertiza. Sudebno-ekspertnaia otsenka deistvii voditelei i drugikh lits, otvetstvennykh za obespechenie bezopasnosti dorozhnogo dvizheniia, na uchastkakh DTP [Forensic examination of road transport. Forensic expert evaluation of actions of the driver and other persons responsible for ensuring road safety in the areas of road accident]. Moscow: Ekzamen, 2003. 208 p.
15. Tipovye ekspertnye metodiki issledovaniia veshchestvennykh dokazatel'stv. Chast' 1 [Typical research methods expert evidence. Part 1]. Ed. Iu.M. Dil'din. Moscow: INTERKRIM–PRESS, 2010. 568 p.

Получено 9.11.2015

### **Об авторах**

**Городокин Владимир Анатольевич** (Челябинск, Россия) – кандидат юридических наук, профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета) (454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: qorodok\_vlad@mail.ru).

**Альметова Злата Викторовна** (Челябинск, Россия) – магистрант кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета (454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: [zlata.almetova@yandex.ru](mailto:zlata.almetova@yandex.ru)).

**Леонова Ольга Владимировна** (Челябинск, Россия) – магистрант кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета (454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, e-mail: [lov-62@mail.ru](mailto:lov-62@mail.ru)).

### **About the author**

**Vladimir A. Gorodokin** (Chelyabinsk, Russian Federation) – Ph.D. in Law Sciences, Professor, Department of Exploitation of Road Transport, South Ural State University (National Research University) (76, Lenin av., Chelyabinsk, 454080, Russian Federation, e-mail: [qorodok\\_vlad@mail.ru](mailto:qorodok_vlad@mail.ru)).

**Zlata V. Almetova** (Chelyabinsk, Russian Federation) – Master Student, Department of Exploitation of Road Transport, South Ural state University (national research University) (76, Lenin av., Chelyabinsk, 454080, Russian Federation, e-mail: [zlata.almetova@yandex.ru](mailto:zlata.almetova@yandex.ru)).

**Olga V. Leonova** (Chelyabinsk, Russian Federation) – Master Student, Department of Exploitation of Road Transport, South Ural State University (national research University) (76, Lenin av., Chelyabinsk, 454080, Russian Federation, e-mail: [lov-62@mail.ru](mailto:lov-62@mail.ru)).