

УДК 656.051

Е.Н. Кочкуров, М.Г. Корчажкин

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Оптимизация режимов работы перекрестков является актуальной задачей. Пробки возникают в основном в пиковые периоды на пересечениях дорог с высокой загруженностью. Для максимального увеличения пропускной способности мест затруднения применяется адаптивное регулирование, обеспечивающее изменение времени цикла светофора и фаз в зависимости от количества транспортных средств. Для адекватной работы системы адаптивного управления транспортными потоками необходим критерий, по которому работает алгоритм управления. С целью определения возможного критерия в работе проведено моделирование работы перекрестка, получены значения фаз для различных уровней интенсивности движения на участке дороги.

*Ключевые слова:* транспортный поток, перекресток, затор, светофор, цикл светофора, фаза светофора, интенсивность транспортного потока, адаптивное регулирование.

Применяемое на сегодня управление режимами светофора является постоянным в утренние и вечерние часы пик, хотя наблюдается тенденция того, что утром более нагружено одно направление дороги, а вечером другое. Существует необходимость применения такого режима работы светофора, который позволял бы увеличивать фазу работы зеленого сигнала светофора на наиболее загруженном подходе к перекрестку, и уменьшать те фазы, которые «не востребованы».

На данной стадии исследования проводится выбор критерия, по которому будет производиться автоматическое регулирование. Для этого в программе PTV Vision vissim создана модель перекрестка (пересечение пр. Ленина и улиц Комарова с одной стороны и ул. Дружбы – с другой), приведенных на рис. 1.

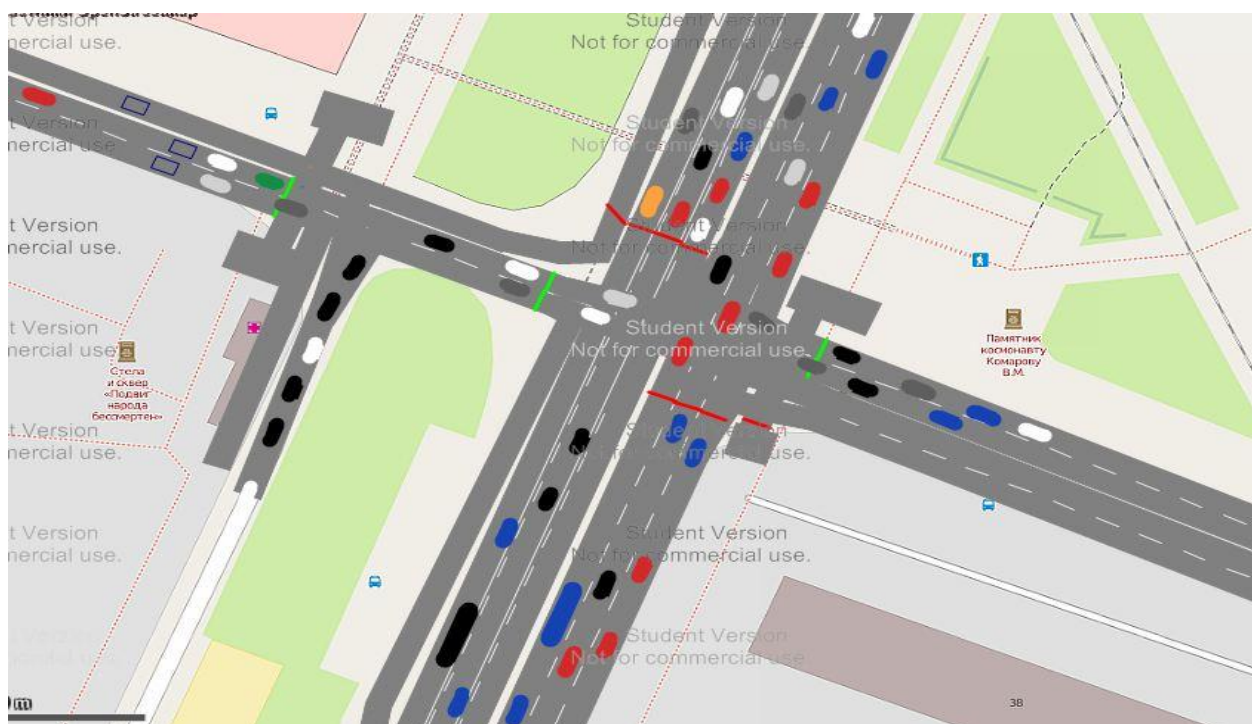


Рис. 1. Визуальное представление рассматриваемого перекрестка

В утренний и вечерний «час пик» наблюдается разная загруженность в каждом направлении, утром плотный поток автомобилей движется со стороны станции метро Пролетарская, в вечернее время в обратном направлении. Для обеспечения более свободного проезда данного участка в модели изменяется время цикла светофоров и фазы светофора с интервалом времени  $\Delta t=1$  с (рис. 2). Уменьшение времени цикла приведет к увеличению остановок и разгонов, что не целесообразно. Увеличение же времени цикла тоже имеет свой предел, так как слишком долгая фаза зеленого сигнала с одной стороны уменьшает обоснованную востребованность, а красный сигнал приведет к задержке и чрезмерному «переполнению», т.е. образованию длинных очередей.

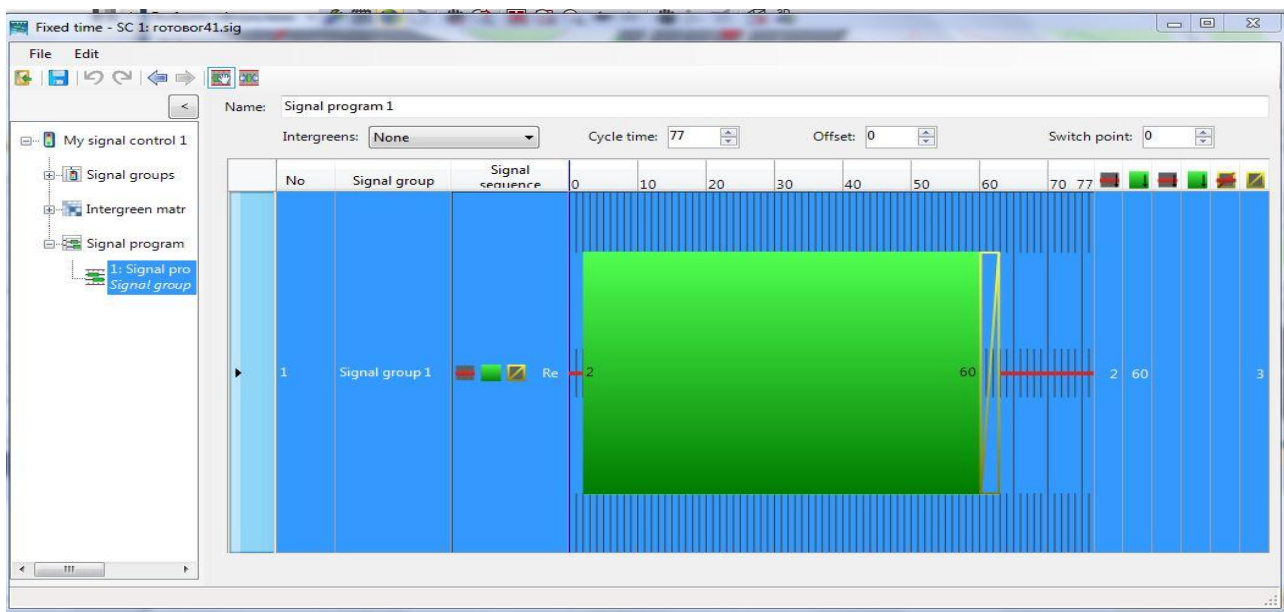


Рис. 2. Фазы работы светофора (интерфейс программы)

На первом этапе исследований в качестве критерия введения адаптивного управления перекрестком выбрано время прохождения автомобилей участка перекрестка, также будут рассматриваться очереди и количество остановок. Это в дальнейшем позволит наиболее полно оценить ситуацию, возникающую после изменений. При выполнении моделирования работы светофорного объекта на перекрестке были получены данные об интенсивности транспортного потока в зависимости от времени цикла светофора на перекрестке (табл. 1).

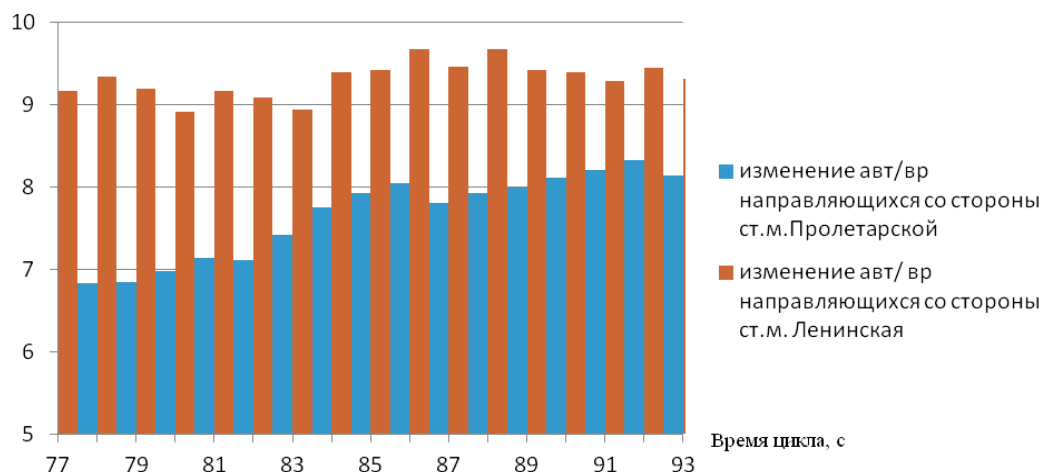


Рис. 3. Интенсивности транспортных потоков в зависимости от времени цикла

По результатам измерения построена гистограмма зависимости интенсивности транспортного потока от изменения времени цикла (рис. 3).

Увеличение цикла на 1 с и увеличение фазы зеленого света светофора со стороны ст. м. Пролетаркой, не изменяя время фаз других направлений, приводит к уменьшению времени прохождения участка дороги на пр. Ленина, что влияет на интенсивность (при востребовании перекрестка).

Анализ диаграммы позволил выбрать величины циклов, где высоки значения интенсивности на участке дороги в обоих направлениях. Приоритет отдавался потоку со стороны ст. м. «Пролетарская». При величине цикла 85-86 с и 90-92 с наблюдается комплексное повышение интенсивностей потока, которые и принимались к дальнейшему рассмотрению.

Таблица 1

Интенсивности транспортного потока

Поток со стороны ст.м. «Пролетарская» №	Время цикла, с	ТС в сети	Время на все ТС в сети	Интенсивность, авт./вр.	Поток со стороны ст.м. «Ленинская» №	Время цикла, с	ТС в сети	Время на все ТС в сети	Интенсивность, авт./вр.
1	77	326	47,66	6,84	1	77	263	28,67	9,17
2	78	326	47,74	6,83	2	78	260	27,83	9,34
3	79	324	47,32	6,85	3	79	261	28,38	9,20
4	80	325	46,53	6,98	4	80	265	29,72	8,92
5	81	326	45,67	7,14	5	81	266	29,01	9,17
6	82	328	46,08	7,12	6	82	261	28,71	9,09
7	83	337	45,44	7,42	7	83	256	28,65	8,94
8	84	346	44,64	7,75	8	84	267	28,42	9,40
9	85	353	44,52	7,93	9	85	266	28,23	9,42
10	86	357	44,36	8,05	10	86	262	27,10	9,67
11	87	353	45,19	7,81	11	87	265	28,02	9,46
12	88	355	44,82	7,92	12	88	271	28,02	9,67
13	89	357	44,70	7,99	13	89	265	28,14	9,42
14	90	358	44,10	8,12	14	90	270	28,77	9,39
15	91	358	43,60	8,21	15	91	263	28,31	9,29
16	92	361	43,39	8,32	16	92	264	27,93	9,45
17	93	351	43,13	8,14	17	93	265	28,45	9,31

Выполнен также анализ значений длин заторов и остановок в очередях, чтобы сделать более полные выводы об изменениях в циклах светофоров (рис. 4, 5).

Выбирая за приоритетное направление поток со стороны ст.м. «Пролетарская», было получено, что оптимальными длинами цикла являются 86 и 92 с.

Расчетные длины циклов находятся по методу Полукарова.

Длительность светофорного цикла рассчитывается по формуле [1]

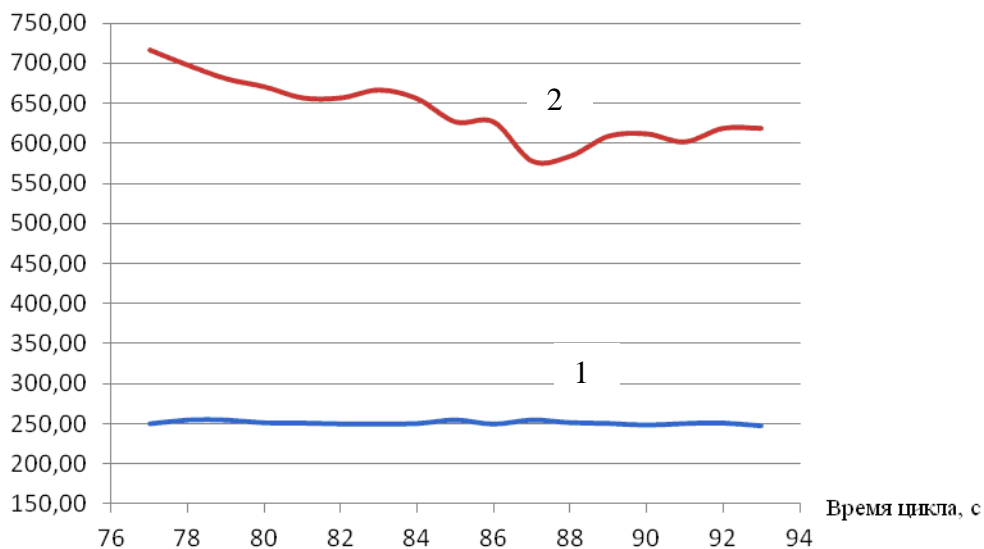
$$T_{\text{ц}} = \frac{5,5n + 5}{1 - 0,75P}, \quad (1)$$

где  $n$  - число фаз;  $P$  - суммарный фазовый коэффициент,  $P = p_1 + p_2 + \dots$

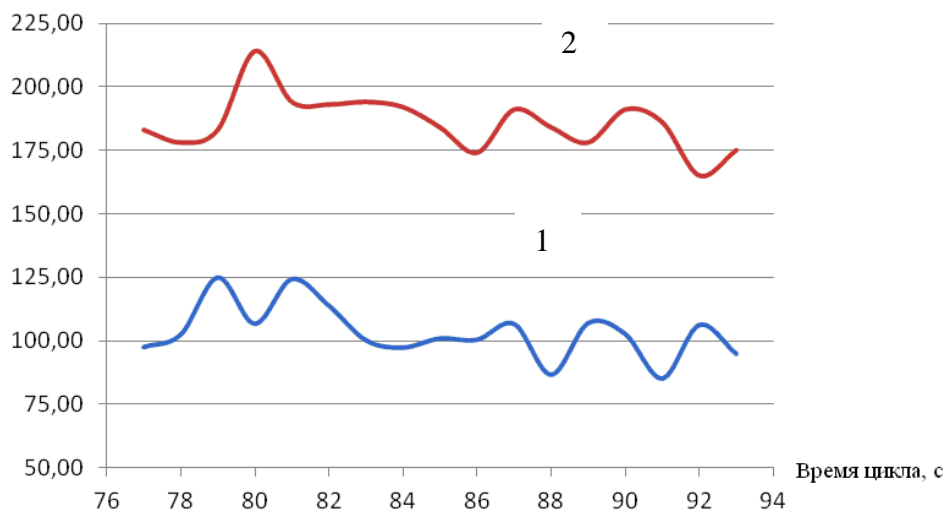
Для каждой фазы определяются фазовые коэффициенты по формуле [2]

$$p_i = \frac{N_{\phi i}}{470b_i K_H}, \quad (2)$$

где  $N_{\phi i}$  - интенсивность более загруженного направления в  $i$ -и фазе;  $b_i$  – ширина (м) проезжей части, используемой потоком  $N_i$ ;  $K_H$  - коэффициент, учитывающий направления движения потоков  $N_{\phi i}$ .



**Рис. 4. Характеристика потока со ст. м. «Пролетарская»**  
 1 – максимальные длины заторов; 2 – остановки в заторах



**Рис. 5. Характеристика потока со ст. м. «Ленинская»**  
 1 – максимальные длины заторов; 2 – остановки в заторах

$$K_H = \frac{N_i}{N_{пр} + 1,25 \cdot N_{право} + 1,75 \cdot N_{лево}}, \quad (3)$$

где  $N_i$  - суммарная часовая интенсивность движения с подхода, авт./ч;  $N_{пр}$ ,  $N_{право}$ ,  $N_{лево}$  – часовые интенсивности движения транспортных потоков, движущихся в данной фазе прямо, направо и налево, авт./ч.

Длительность разрешающего такта в  $i$ -й фазе определяется из соотношения [2]

$$\frac{t_i}{T_{ц}} = \frac{P_i}{P}, \quad (4)$$

где  $t_i$  – длительность  $i$ -й фазы, равная сумме разрешающего такта, с.

При расчетах фазовых коэффициентов по формуле (2) выбираются наиболее загруженные направления: со стороны ст.м. «Пролетарская» в основной фазе, и с ул. Дружбы во второстепенной.

По формуле (3) находится коэффициент, учитывающий направления потоков,

$$K_{H2} = \frac{N_i}{N_{пр} + 1,25N_{право} + 1,75N_{лево}} = \frac{1854}{1798 + 1,25 \cdot 56} = 0,99,$$

$N_{лево} = 0$ , так как порот налево запрещен.

$$K_{H4} = \frac{N_i}{N_{пр} + 1,25N_{право} + 1,75N_{лево}} = \frac{451}{149 + 1,25 \cdot 23 + 1,75 \cdot 279} = 0,67$$

Определяются фазовые коэффициенты:

$$P_2 = \frac{N_{\phi i}}{470b_i K_H} = \frac{2283}{470 \cdot 10,5 \cdot 0,99} = 0,36.$$

$$P_4 = \frac{N_{\phi i}}{470b_i K_H} = \frac{451}{470 \cdot 10,5 \cdot 0,67} = 0,15.$$

Суммарный фазовый коэффициент  $P = 0,36 + 0,17 = 0,51$ .

Определение длины цикла по формуле (1)  $T_{ц} = \frac{5,5 \cdot n + 5}{1 - 0,75 \cdot P} = \frac{5,5 \cdot 2 + 5}{1 - 0,75 \cdot 0,51} = 26(c)$ .

Из соотношения находим длительность разрешающего такта в  $i$ -й фазе:

- для основной фазы  $\frac{t_i}{T_{ц}} = \frac{P_i}{P}$ ,  $\frac{t_i}{26} = \frac{0,36}{0,53}$ ,  $t = 18$  с.

- для второстепенной фазы  $t = T - t = 26 - 18 = 8$ .

Транспортный поток со стороны ст.м. «Ленинская» включает в себя транспортные средства, которые поворачивают по стрелке на ул. Комарова. Таким образом, в то время, когда «стрелка горит зеленым» временем  $t_{ст}$ , основная фаза зеленого света со стороны ст. м. «Пролетарская» уменьшена на это время (табл. 2).

Таблица 2

Схема циклов работы светофора

Поток, который «пропускает» светофор	Фазы светофора, с				
Прямой поток со стороны ст. м. «Ленинская»	18		3	8	3
Поворот налево (стрелка) на ул. Комарова	5	27			
Прямой поток со стороны ст. м. «Пролетарская»	5	13	3	8	3
ул. Комарова и ул. Дружбы	18		3	8	3

Таким образом, в ходе проведенных исследований получено, что при изменении цикла работы светофорного объекта на пересечении можно определить минимальное время прохождения транспортом рассматриваемого перекрестка. Это дает возможность рассчитать оптимальный цикл работы светофора по критерию времени прохождения. Выводы подтверждаются результатами моделирования. Так как адаптивное управление транспортными потоками необходимо лишь в часы пик, дальнейшей задачей проводимых исследований является поиск критерия начала введения адаптивного управления в зависимости от интенсивности движения.

**Библиографический список**

1. **Кременец, Ю. А.** Технические средства организации дорожного движения: учебник для вузов / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М. Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с.
2. **Самойлов, Д. С.** Организация и безопасность движения: учебник для вузов / Д. С. Самойлов, В. А. Юдин, П. В. Рушевский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк. 1981. – 256 с.
3. **Дрю, Д.** Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю. . – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
4. **Хейт, Ф.** Математическая теория транспортных потоков / Ф. Хейт. – М.: Москва, 1986. – 287 с.

*Дата поступления  
в редакцию 20.09.2014*

**E.N. Kochkurov, M.G. Korchazhkin**

**DETERMINATION OF PARAMETERS OF REGULATION  
BY TRANSPORT STREAMS ON THE BASIS OF MODELLING**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Creation of adaptive model of management of the transport intersection.

**Design/methodology/approach:** Researches are lead with use of methods of the mathematical modeling and pilot studies.

**Findings:** The mathematical model of the intersection is constructed, the operating mode of the traffic light is defined.

**Research limitations/implications:** The optimal cycle of operation of the traffic light by criterion of time passing of the intersection by vehicles is received.

**Originality/value:** Results of modeling allow to carry out search criterion of the beginning introduction of adaptive management at the intersection.

*Key words:* traffic flow, intersection, traffic jam, traffic lights, cycle traffic light phase of the traffic light, the intensity of traffic, the adaptive regulation.