

## **Имитационное моделирование как средство модернизации участка транспортной сети**

**Д.В. Быков, Д.В. Лихачёв**

В настоящее время в современных крупных городах в связи с увеличением количества транспортных средств и плотностью застройки интервалы между светофорами в некоторых случаях не позволяют вместить весь поток [1, 2]. Все острее встает проблема пробок утром, когда наибольшее количество автомобилей выезжает по направлению от спальных районов к индустриальным или коммерческим объектам, т.е. к рабочим местам и вечером, когда происходит обратный процесс.

При условии ограниченного пространства для строительства новых дорожных развязок и трудности по перестроению старой дорожной инфраструктуры, а также малого количества имеющихся ресурсов, одним из лучших решений является использование имитационных моделей для предварительного анализа оптимизации транспортного потока [3 – 6].

В основном, движение транспортного потока от точки А к точке Б происходит с небольшим добавлением единиц потока по пути. Поскольку прирост потока незначительный, то и нагрузка должна возрасти незначительно, однако даже эта порция транспорта вызывает затор. Если рассмотреть перекрестки, которые являются заторообразующими, то мы увидим, что при количестве автомобилей меньше некоего критического значения не наблюдается затруднения движения на всем участке дороги. Тем не менее, если поток пересекает это значение, то затор начнет образовываться лавинообразно, в том числе в местах, на которых в нормальных условиях затор никогда не образуется. Подобная ситуация имеет характеристики, сходные с ситуацией одиночного затора.

Так, например, В.В. Семенов утверждает, что: «Одиночные заторы могут быть вызваны условиями дорожного движения, например, красным

светом светофора, аварией, сужением и т.п. В такой ситуации условие превышения притока в пробку над оттоком выполнить легко: например, если сужение имеет пропускную способность  $q_{bn}$ , а приток  $q_{in}$ , то если  $q_{in} > q_{bn}$ , пробка будет расти» [7].

Такой процесс происходит в результате того что каждый водитель на светофоре создает дополнительную нагрузку на пропускную способность дороги небольшой задержкой. Начало движения каждого остановившегося автомобиля происходит не синхронно, а последовательно [8]. Наблюдения показывают, что отток транспортных средств из пробки составляет в среднем одно транспортное средство за две секунды для одной полосы движения. Обозначим его через  $q^*$ . Тогда пробка будет расти, если  $q_{in} > q^*$  [7].

Данная ситуация вызвана тем, что ко времени прохождения каждого автомобиля помимо времени от начала движения до набора оптимальной скорости добавляется некая величина реакции водителя, она в каждом случае индивидуальна, но в среднем для водителя составляет от 0,5 до 2 секунд. При движении без остановки на зеленый свет отток транспортных средств с перекрестка составляет в среднем одно транспортное средство за 0,5 секунды. В ситуации начала движения автомобиля после переключения сигнала светофора с красного на зеленый свет пропускная способность снижается. В таких условиях задержка на каждом последующем светофоре увеличивается, так как поток движется порционно [9].

С другой стороны, в случае не одиночного затора, а серии пробок, если на выходе из первой пробки появится поток  $q^*$ , то из второй пробки поток составит ту же величину  $q^*$  [7].

Вслед за В.В. Семеновым мы рассматриваем красный сигнал светофора в качестве одиночного затора, и, следовательно, исследуем серию светофоров как серию пробок.

Большинство теорий утверждают, что задержки транспортных средств зависят от двух компонент: от времени, за которое автомобиль проехал бы через заторное место при отсутствии очереди и от поведения потока в

пределах заторного участка. То есть практически, время задержки не зависит от структуры очереди и, следовательно, управляющие воздействия нужно направлять не на очередь, а на сами заторные участки [7].

Исходя из этого мы можем предотвратить стремительное увеличение затора, если создадим искусственное препятствие (красный сигнал светофора) до участка с интенсивным движением. Тогда на участке, для которого  $q_{in} > q_{bn}$  поток будет двигаться с меньшими задержками, что повысит его устойчивость к заторам. При этом на первом препятствии длительность ожидания светофора будет несравнимо мала. Таким образом, в некоторых случаях можно увеличить пропускную способность магистрали с минимальными затратами – перенастроить светофоры.

Неэффективность существующей системы светофоров возникает в связи с отсутствием учета реальных характеристик потока, таких как, длина очереди и продолжительность цикла светофоров. Входящий поток трафика во время работы запрещающего сигнала светофора также учитывается при моделировании в этой статье. Генетический алгоритм вводится в данной работе из-за механизма естественной генетики, с помощью которого можно быстро определить оптимальные решения.

Для того чтобы построить необходимую имитационную модель, нужно получить исходные данные: количество заявок, поступающих в сеть (количество автомобилей, прибывающих на рассматриваемый дорожный участок), время работы узлов сети (светофоров) в разных режимах, время прохождения одной заявки между узлами сети (время, за которое один автомобиль преодолевает участок между светофорами), конфигурация исследуемой сети.

Наиболее полное и точное определение дорожных условий в течение недели для разного времени суток возможно при наличии большого набора данных. Такой набор данных может быть получен только при наличии детекторов транспорта на изучаемом участке дорожной сети. [10, 11] Это позволило бы кластеризовать данные и точно определить, когда возникает

затор и, главное, где он начинает образовываться. В этом случае построенная модель будет полностью соответствовать реальной дорожной ситуации. В связи с тем, что в г. Волгограде отсутствуют подобные устройства, точно определить дорожные условия не представляется возможным. Следовательно, для получения исходных данных мы использовали визуальный подсчет на исследуемом участке дорожной сети. С помощью упомянутого выше метода был произведен подсчет времени работы светофоров в разных режимах на том же участке.

В таблице № 1 представлены полученные результаты при подсчете количества автомобилей, прибывающих на первый светофор каждую минуту с 8.00 до 9.00, т.е. в час пик.

Таблица № 1

Количество автомобилей в минуту в час пик

Время, ч.:мин.	8:00	8:01	8:02	8:03	8:04	8:05	8:06	8:07	8:08	8:09
Кол-во машин, шт	15	10	10	9	16	17	17	7	17	6

Время, ч.:мин.	8:10	8:11	8:12	8:13	8:14	8:15	8:16	8:17	8:18	8:19
Кол-во машин, шт	14	10	12	8	17	10	16	7	12	5

Время, ч.:мин.	8:20	8:21	8:22	8:23	8:24	8:25	8:26	8:27	8:28	8:29
Кол-во машин, шт	18	6	12	10	16	10	17	5	11	8

Время, ч.:мин.	8:30	8:31	8:32	8:33	8:34	8:35	8:36	8:37	8:38	8:39
Кол-во машин, шт	15	8	16	5	11	10	14	8	11	7

Время, ч.:мин.	8:40	8:41	8:42	8:43	8:44	8:45	8:46	8:47	8:48	8:49
Кол-во машин, шт	14	11	15	7	19	4	13	8	15	10

Время, ч.:мин.	8:50	8:51	8:52	8:53	8:54	8:55	8:56	8:57	8:58	8:59
Кол-во машин, шт	17	6	15	9	14	7	13	9	12	6

Используя данные из таблицы № 1, нами была разработана имитационная модель участка I продольной магистрали г. Волгограда в границах улиц Титова и Кубинская. В целях упрощения моделирования на рассматриваемом участке мы выделили три заторообразующих перекрестка. В данном случае сеть будет разомкнутой, поток заявок задается из таблицы № 1. В результате, мы получили входной поток в час пик, свойственный утренним часам для г. Волгограда, и три исследуемых узла.

Согласно полученным при визуальном подсчете данным, светофоры (узлы сети) на участке продольной магистрали работают по следующей схеме:

Таблица № 2

Фазы светофора в режиме красный-желтый-зеленый-зеленый моргающий-желтый-красный

№ пере- крестка	Красный, сек	Желтый, сек	Зеленый, сек	Зеленый моргающий, сек	Желтый, сек
1	22	-	34	3	4
2	19	4	36	4	4
3	30	-	47	3	4

Общая структура исследуемого участка сети показана на рис.1:

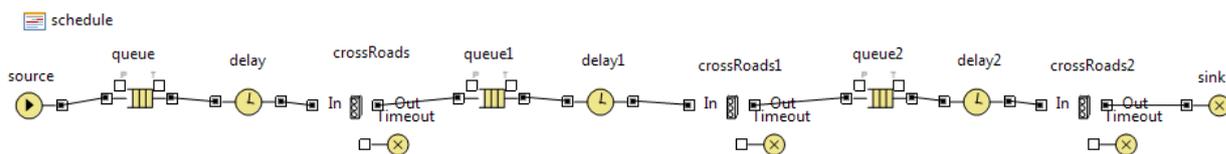


Рис. 1. – Схема модели исследуемого участка сети

В соответствии с полученными данными была построена следующая модель:

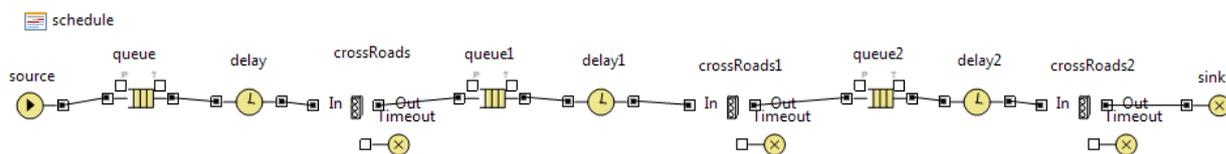


Рис. 2. – Модель исследуемого участка сети

Для получения средних данных были зафиксированы результаты пяти итераций, представленные в таблице № 3:

Таблица № 3

Среднее количество автомобилей, прошедших через участки модели сети за 1 час

Итерация	Входной поток	Выходной поток	1 светофор	2 светофор	3 светофор
1	1.333	931	971	931	931
2	1.392	976	1.001	976	976
3	1.327	920	951	920	920
4	1.355	932	968	932	932
5	1.392	976	1.001	976	976

Из таблицы № 3 видно, что пропускная способность падает на светофорах 2 и 3, когда поток становится лавинообразным.

Далее модель была модифицирована таким образом, чтобы поток задерживался на первом светофоре дольше, и зеленая фаза на всех светофорах была больше. Новые данные представлены в таблице № 4.

Таблица № 4

Модифицированные фазы работы светофоров

№ перекрестка	Красный, сек	Желтый, сек	Зеленый, сек	Зеленый моргающий, сек	Желтый, сек
1	32	-	40	4	4

2	108	4	40	4	4
3	148	-	40	4	4

Для получения средних данных модифицированной модели были также зафиксированы результаты пяти итераций, представленные в таблице № 5:

Таблица № 5

Среднее количество автомобилей, прошедших через участки модифицированной модели сети за 1 час

Итерация	Входной поток	Выходной поток	1 светофор	2 светофор	3 светофор
1	1312	1031	1098	1035	1031
2	1369	1045	1118	1048	1045
3	1326	1031	1107	1039	1031
4	1366	1059	1148	1067	1059
5	1390	1071	1143	1075	1071

Из таблицы видно, что изменение модели привело к увеличению пропускной способности системы. Таким образом, за счет небольшого изменения настройки светофоров, можно получить значительный прирост в пропускной способности. В данном исследовании мы получили самый простой вариант изменения системы. Как видно из таблицы № 5 мы можем еще больше увеличить её пропускную способность, поскольку светофорное время все еще используется не полностью.

Проведенное исследование подтверждает, что можно использовать законы, действительные для серии пробок, применительно к серии светофоров. Данные законы облегчают оптимизацию имитационной модели участка дорожной сети.

Таким образом, имитационное моделирование на основе генетических алгоритмов в сочетании с данными о максимальной длине очереди для модифицирования группы светофоров являются продуктивным способом увеличить пропускную способность целого участка автодороги. Это

особенно актуально в условиях длинных городов, в частности, таких, как Волгоград. Использование подобного моделирования поможет значительно увеличить пропускную способность городских магистралей и повысить среднюю скорость движения городского трафика.

### **Литература:**

1. Феофилова А.А. Определение цикла расчета альтернативных маршрутов при динамическом перераспределении транспортных потоков [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, №2. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1712> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

2. Gradinescu V., Gorgorin C., Diaconescu R., Cristea V., Iftode L. Adaptive Traffic Light Using Car-to-Car Communication. // Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007-Spring. IEEE 65th. – 21-25 pp. – Url: <http://www.cs.rutgers.edu/~iftode/traffic07.pdf>

3. Шаталова Е.Е., Фиалкин Е.В. Применение моделирования дорожного движения для оценки экологического состояния улично-дорожной сети [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, №2. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1720> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

4. Холодов Я.А., Холодов А.С., Гасников А.В., Морозов И.И., Тарасов В.Н. Моделирование транспортных потоков – актуальные проблемы и перспективы их решения [Электронный ресурс] // Труды. – 2010. – Т. 2. – №. 4. – С. 153. – Режим доступа: [http://mipt.fizteh.ru/science/trudy/4\\_8/Pages\\_152-162\\_from\\_Trud-8-16-arghcx11tgs.pdf](http://mipt.fizteh.ru/science/trudy/4_8/Pages_152-162_from_Trud-8-16-arghcx11tgs.pdf) (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

5. Трунин В. В., Романов А. Н. Компьютерное имитационное моделирование как способ решения транспортных проблем в городах [Текст] // Молодой ученый, 2011. – Т. 3. – №.4. – С.133-136.

6. Швецов В. И. Проблемы моделирования передвижений в транспортных сетях [Электронный ресурс] // Труды. – 2010. – Т. 2. – №. 4. –

С. 169. – Режим доступа: [https://mipt.ru/upload/3e6/Pages\\_169-179\\_from\\_Trud-8-18-arphcxlltgs.pdf](https://mipt.ru/upload/3e6/Pages_169-179_from_Trud-8-18-arphcxlltgs.pdf) (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

7. Семенов В.В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса [Электронный ресурс] // Препринты Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. – 2004. – 45 с. – Режим доступа: <http://spkurdyumov.ru/uploads/2013/08/Semenov.pdf> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

8. Замятин А.А., Малышев В.А. Введение в стохастические модели транспортных потоков [Электронный ресурс] // Введение в математическое моделирование транспортных потоков, 2 изд, МХНМО, Москва. – с. 271-303. – Режим доступа: <http://zoneos.com/traffic/Замятин-Малышев.pdf> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

9. Посмитный Е.В., Медовщиков М.И. Методика адаптивного управления транспортными потоками высокой интенсивности в условиях города на основе мезо-модели динамики с применением генетических алгоритмов [Электронный ресурс] // Научный журнал КубГАУ. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №10(084). С.1-11. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/10/pdf/75.pdf> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

10. Галкина Г.А. Метод прогнозирования состояния транспортного потока при управлении на сети [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4 (часть 1). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1071> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

11. Johnston D., Suter D. The use of genetic algorithms to identify traffic conditions to optimize arterial performance // 25th ARRB Conference – Shaping the future: Linking policy, research and outcomes, Perth, Australia 2012. – Url: <http://www.arrb.com.au/admin/file/content128/c6/JohnstonD.pdf>