

$$DW := \frac{\sum_{i=1}^{N-1} (U_i - U_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^{N-1} (U_i)^2}$$

$$DW = 2.703$$

Экспериментальные данные (Y):

Предсказанные на базе регрессии значения(predY):

	0		0
	85.35		86.283
	199.83		199.879
	84.84		84.852
	71.89		71.184
	32.2		30.712
	10.69		12.153
	7.16		5.98
Y =	10.95	predY =	11.638
	7.44		7.695
	25.7		25.122
	10.2		11.177
	3.28		3.588
	5.22		4.68
	8		7.606
	9.64		9.761
	7.13		8.038

## Литература

1. <http://inflationdata.com/Inflation/Inflation/Inflation.asp>
2. <http://www.nasdaq.com/asp/flashquotes.aspx?symbol=IXNDX&selected=IXNDX>
3. <http://www.nyse.com/about/listed/lcddata.html?ticker=NYA>

УДК 656.13.05

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СДВИГА РАБОЧЕГО ГРАФИКА ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРОДА НА ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

**Сашко А.Н., Теленкевич Р.С.**

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест

В современном мире проблема большой загруженности автотранспортных потоков, приводящая к пробкам, становится всё значительнее. Пробки приводят к огромным экономическим потерям, а также временным потерям. По прогнозам специалистов, в ближайшие годы движение в крупных городах может прекратиться из-за перегруженности городской автотранспортной сети. В связи с этим, поиск методов решения проблемы высокой загруженности автотранспортных потоков является актуальной проблемой.

Очевидно, что универсального решения данной проблемы не существует. Уменьшение нагрузки на городскую транспортную сеть является нетривиальной задачей и требует одновременного применения различных методов для её решения. В данной статье предлагается один из методов решения данной проблемы. Суть метода сдвига рабочего графика крупных городских предприятий заключается в поиске оптимального графика работы основных предприятий города, при котором нагрузки на транспортную сеть будут минимальны.

В рамках данного исследования используется абстрактная городская транспортная сеть, приближённая к реальной. Данная сеть имеет ряд особенностей, связанных с планировкой города (она не имеет ярко выраженных индустриальных зон и спальных районов) и населением (количество ежедневно присутствующего в городе приезжего населения незначительно в сравнении с популяцией города). Источниками потоков данной транспортной сети являются жилые зоны, узлами – дорожные регулируемые перекрёстки, а точками назначения потоков – предприятия города. Маршрутный граф данной сети является неориентированным, взвешенным и имеет следующие элементы:

1. Дорожные регулируемые перекрёстки  $N_1, N_2, \dots, N_n$ , где  $n$  – количество таких перекрёстков в сети. Каждый узел имеет четыре параметра  $N_{i1}, N_{i2}, N_{i3}, N_{i4}$ ,  $i=[1, n]$ , каждый из которых содержит значение количества полос движения по одному из четырёх возможных направлений движения к перекрёстку.

2. Жилые районы  $S_1, S_2, \dots, S_m$ , где  $m$  – количество таких районов в сети, выступающие в качестве источников потоков.

3. Предприятия города  $E_1, E_2, \dots, E_l$ , где  $l$  – количество таких предприятий в сети, выступающие в качестве конечных точек потоков.

4. Дуги графа взвешенные. Веса дуг ( $w_1, w_2, \dots, w_k$ ) имеют значение времени, необходимого для преодоления пути от узла к узлу, вычисленное статистически как среднее значение в интервале заданного времени.

В рамках исследования данного метода мы построили простой маршрутный граф (рисунок 1).

Входными параметрами модели служат значения весов дуг графа, количество рабочих мест на рассматриваемых в модели предприятия, среднее количество личных транспортных средств на тысячу населения. Распределение транспортных потоков по маршрутному графу основывается на маршрутной матрице, которая представляет собой набор наиболее вероятных маршрутов движения транспортных средств от жилых районов к городским предприятиям.

С точки зрения моделирования, регулируемый дорожный перекрёсток представляет собой сеть массового обслуживания. В качестве транзактов сети выступают транспортные средства. Транзакты поступают на многоканальное (роль каналов играют полосы движения) обслуживающее устройство (дорожный перекрёсток) группами через различные интервалы времени. Время обслуживания равно сумме времени на преодоление перекрёстка и времени, необходимого, чтобы начать движение, в случае, если до момента начала обслуживания машина находилась в очереди либо прибыла на перекрёсток в момент красной фазы светофора. Время обслуживания различное для различных транзактов и зависит от положения в очереди в момент включения зелёной фазы светофора. Обслуживание ведётся только во время активной зелёной фазы светофора. В момент активной красной фазы на обслуживающем перекрёстке нарастает очередь. Роль источника заявок играют жилые районы, роль приёмников – городские предприятия.

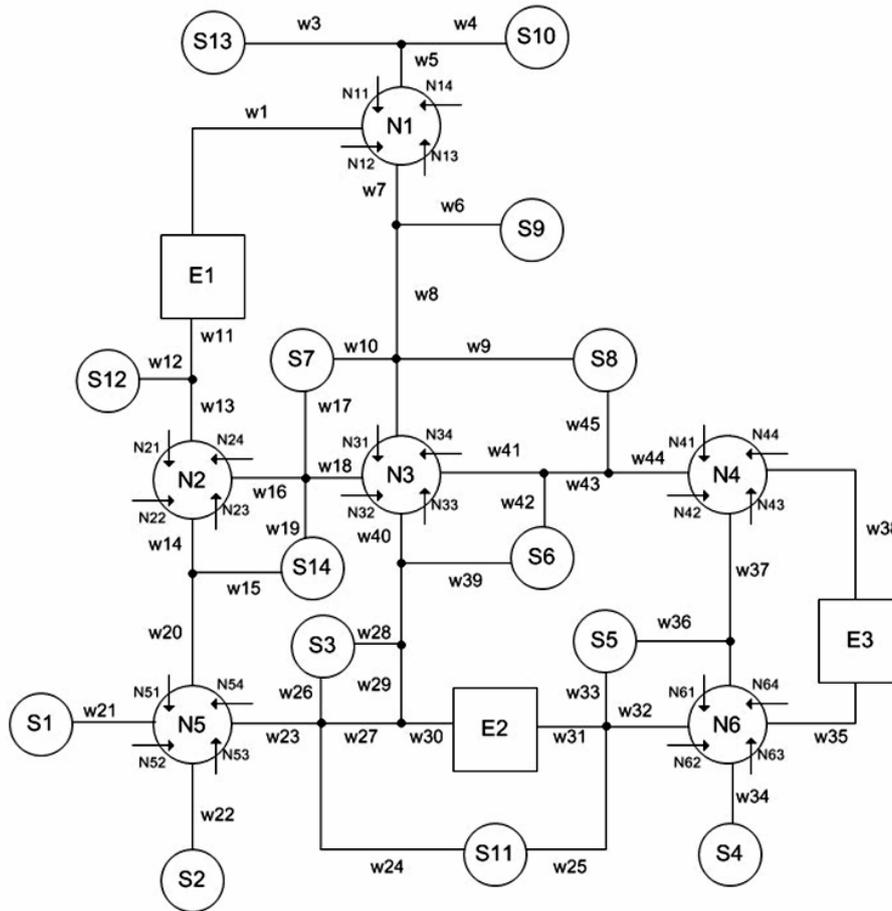


Рисунок 1 – Маршрутный граф

Целью эксперимента является определение наилучшего графика работы предприятий города, при котором средние показатели количества машин в очереди по каждому направлению перекрёстка и времени ожидания в очереди будут наименьшими, а также нагрузка на сеть будет распределена наиболее равномерно. Если обозначить среднее количество машин в очереди по каждому направлению перекрёстка  $N_{ij}$  (где  $i$  – индекс перекрёстка, а  $j$  – индекс направления) как  $V_{ij}$  и времени ожидания в очереди как  $T_{ij}$ , то условие оптимальности можно записать в виде формулы 1:

$$\left\{ \begin{array}{l} U = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 \frac{V_{ij}}{4n} \rightarrow \min \\ U_s = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^4 \frac{V_{ij}}{4} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 \frac{V_{ij}}{4n} \right) \rightarrow 0 \\ H = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 \frac{T_{ij}}{4n} \rightarrow \min \\ H_s = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^4 \frac{T_{ij}}{4} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 \frac{T_{ij}}{4n} \right) \rightarrow 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

Значения  $U$  и  $H$  представляют собой среднее количество машин в очереди и время пребывания машины в очереди по всей сети соответственно. Значения  $U_s$  и  $H_s$  показывают общую среднюю разность времени пребывания в очереди и количества машин в очереди по всей сети и позволяют судить о равномерности распределения нагрузки на транспортную сеть.

Перед проведением эксперимента на модели необходимо определить шаг изменения времени графика работ предприятий. Известно, что максимальным возможным сдвигом в графике работы предприятия может быть один час. Это крайнее и наиболее нежелательное значение. В то же время сдвиг менее чем на полчаса может оказаться неэффективным. Таким образом, для нашей модели выберем шаг в полчаса.

Для заданной модели были проведены необходимые эксперименты, результаты которых доказывают эффективность предложенного метода. Результаты приведены в таблице 1. В таблице представлены данные экспериментов, при которых были получены наиболее оптимальные и неоптимальные данные.

Таблица 1 – Результаты экспериментов

№ эксперимента	Начальное время работы первого предприятия	Начальное время работы второго предприятия	Начальное время работы третьего предприятия	U	H	U <sub>s</sub>	H <sub>s</sub>
1	8:00	8:00	8:00	31,819	238,499	53,348	1672,151
4	8:00	7:30	8:00	0,740	32,698	1,130	232,852
6	8:00	7:30	8:30	0,391	32,360	0,599	231,671
14	7:30	7:30	7:30	43,659	238,473	73,369	1673,467
18	7:30	8:30	8:30	0,725	73,879	0,026	461,690
19	8:30	8:00	8:00	5,688	129,323	12,138	978,642
21	8:30	8:00	8:30	0,688	32,305	1,096	231,761
22	8:30	7:30	8:00	0,391	32,518	0,600	231,413
27	8:30	8:30	8:30	25,023	221,848	41,49	1525,160

Как видно из результатов моделирования, наиболее неудачными, с точки зрения нагрузки на транспортную сеть, являются те случаи, когда предприятия начинают работу в одно и то же время. Самыми эффективными, как с точки зрения минимизации средней нагрузки на сеть, так и равномерности распределения нагрузки по сети, являются обратные случаи. Как видно из полученных результатов, сдвиг в графике работы предприятий может существенно снизить нагрузку на транспортную сеть.

Данные, полученные на экспериментальной модели, подтвердили эффективность метода сдвига рабочих графиков предприятий города, на основе чего можно утверждать, что данный метод даст положительные результаты и на реальной модели. Метод не позволяет полностью разгрузить городскую транспортную сеть, но нагрузка на сеть снижается значительно.

### Литература

1. Буслаев, А.П. Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автомобильного движения / А.П. Буслаев, А.В. Новиков, В.М. Приходько, А.Г. Таташев, М.В. Яшина – М.: Мир, 2003.
2. Брайловский, Н.О. Моделирование транспортных систем / Н.О. Брайловский, Б.И. Грайновский - М.: Транспорт, 1978.
3. Капитанов, В.Т. Управление транспортными потоками в городах / В.П. Капитанов, Е.Б. Хилажев – М.: Транспорт, 1985.