

# АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ОСНОВЕ МАТРИЦ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ

---

*a.e.borovskoy@gmail.com*

**Боровской А.Е.,** канд. техн. наук, доц.,  
**Новиков И.А.,** канд. техн. наук, доц.,  
**Новописный Е.А.,** канд. техн. наук, доц.,  
**Сокорев С.И.,** аспирант,  
**Яблоновская М.Ю.,** аспирант

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

## **Аннотация.**

Для решения проблем с транспортными заторами в настоящее время применяют различные методы. В рамках данной статьи рассмотрен авторский метод прогнозирования загрузки транспортной сети. Составление матриц транспортной корреспонденции и градостроительных решений для участка улично-дорожной сети и изучение свойств единичных объектов матрицы позволит исследовать особенности транспортного потока и закономерности возникновения заторов. Современные технологии позволяют организовать получение исходных данных об интенсивности движения, однако, для масштабных натурных исследований требуются разрешения на установку стационарных комплексов наблюдения. Поэтому авторами рассмотрена возможность применения бытовых видеокамер и предложен алгоритм специализированного программного обеспечения. Использование дополнительных программ позволило построить динамическую имитационную модель транспортных потоков с высокой точностью.

**Ключевые слова:** матрицы корреспонденций, моделирование, прогнозирование интенсивности, распределение транспортных средств, градостроительные системы, транспортный поток, характеристики, транзит.

В связи с постоянно увеличивающейся нагрузкой на улично-дорожную сеть становится необходимым строительство новых объектов транспортной инфраструктуры и изменение графиков работы уже существующих объектов. Это требует принятия обоснованных решений по строительству или реконструкции, что не представляется возможным без понимания характеристик транспортного потока в конкретный

промежутков времени [3]. Также немаловажным является прогнозирование направления движения транспортных средств, т.е. построение матрицы транспортных корреспонденций «источник» - «цель». При этом необходимо понимать, что данный подход имеет функцию инвертирования, т.е. через некоторое время «цель» превращается в «источник». Такой подход показан в ряде работ различных авторов [1, 6, 8]. Большинство работ, в том числе и за последний год, посвящены созданию матрицы корреспонденций на основе изучения интенсивностей на сечениях или пересечениях улично-дорожной сети (УДС). Однако данный подход не гарантирует полноценного изучения характеристик перемещений транспортного потока. Исходя из этого, авторами предложено дальнейшее развитие подхода единичных элементов матрицы корреспонденций. Любой населенный объект состоит из микрорайонов или кластеров [4, 7]. В общем виде кластер характеризуется наличием тех или иных объектов, например, таких, как представлены на рисунке 1.

Каждый из объектов, входящих в кластер, имеет свои характеристики транспортного потока, например, величину интенсивности. При этом общий входящий и исходящий трафик в зоне въезда-выезда из кластера будет представлять собой сумму характеристик входящих в него объектов, описываемых функцией интенсивности от времени.

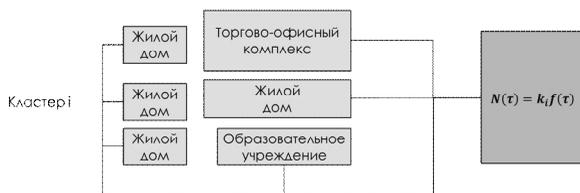


Рисунок 1 – Единичный кластер микрорайона населенного пункта

Построение такой модели кластера или характеристик единичного элемента матрицы транспортных корреспонденций возможно на основании фиксации времени въезда и выезда автомобилей из соответствующей зоны. При этом разработанные авторами методы определения характеристик транспортного потока на основе единичных элементов матриц транспортных корреспонденций дают оценку и возможность прогнозирования характеристик транспортного потока только на отдельном локализованном участке УДС, но не могут описать целую сеть. Это делает необходимым разработку единой методики сбора информации о характеристиках транспортных потоков на основе

регистрации государственных регистрационных номеров автомобилей. Такой подход позволяет точно определить, когда автомобиль въехал на исследуемый участок, когда он его покинул, какое время было потрачено на преодоление участка. Используемые ранее методики фиксации государственных регистрационных номеров автомобилей на базе стационарных видеокамер достаточно сложны и маломобильны, поскольку требуют больших временных затрат на подключение, согласование и т.п. [9, 10]. Поэтому авторами была предложена методика сбора этих данных на основании использования бытовых видеокамер и специализированного программного обеспечения, которое затем обрабатывает видеоматериал. Такой подход позволяет не только осуществлять полный учет характеристик транспортного потока по времени пребывания на том или ином участке УДС, но и позволяет построить матрицу транспортных корреспонденций. При этом возникает необходимость в полном описании характеристик проезжей части с геодезической привязкой улично-дорожной сети. На основании ранее проведенной паспортизации улично-дорожной сети г. Белгорода, разработана методика построения дорожной сети на основании собранных данных с получением полных геометрических характеристик того или иного участка УДС (рис. 2) [2, 5].

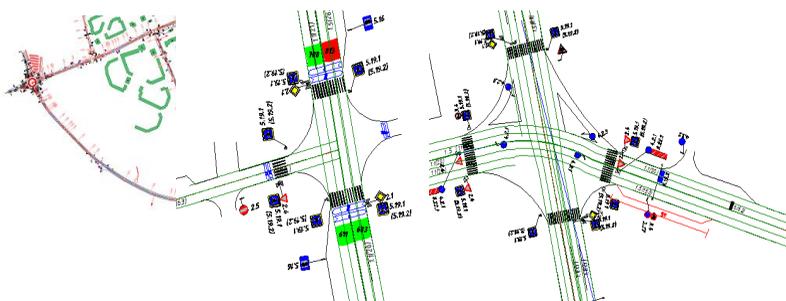


Рисунок 2 – Геометрические параметры улично-дорожной сети

Таким образом, используя предложенные методики сбора данных, становится возможным не только определение матрицы транспортных корреспонденций, но и построение имитационной динамической модели исследуемого участка УДС.

Для реализации такого подхода разработаны требования к специализированному программному обеспечению, которое должно реализовывать функции диагностирования объектов единичных элементов матриц транспортных корреспонденций и контроля точности

на основе показаний детекторов транспорта и подбора функций «излучений» и «поглощений» для единичных элементов матрицы. В этом случае детекторы транспорта выступают в качестве контрольного элемента, обеспечивающего оценку точности полученных исходных данных. Так, для приведённого участка УДС г. Белгорода, матрица транспортных корреспонденций построена на основании данных о государственных регистрационных номерах транзитного транспорта. Входящие потоки из кластеров на основную магистраль описывались при помощи функций единичных элементов матриц транспортных корреспонденций.

Программное обеспечение, оценивающее характеристики транзитного потока и составляющее единую матрицу транспортных корреспонденций, конечный результат предоставляет в виде следующей таблицы.

В таблице 1 приняты обозначения:

1, 2, 3, 4 – места на карте, между которыми следуют ТС и которые оборудованы камерами видеонаблюдения;

$a_{12}$  – количество ТС, прибывших в пункт 2 из пункта 1;

$a_{13}$  – количество ТС, прибывших в пункт 3 из пункта 1 и т.д.

Таблица 1 – Итоговая матрица корреспонденций

Камеры	1	2	3	4
1	0	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$
2	$a_{21}$	0	$a_{23}$	$a_{24}$
3	$a_{31}$	$a_{32}$	0	$a_{34}$
4	$a_{41}$	$a_{42}$	$a_{43}$	0

Каждая камера должна быть описана следующими характеристиками, которые размещаются в соответствующей базе данных.

Для каждого пункта наблюдения камеры необходимо предусмотреть:

1. Ввод точного времени и даты наблюдения. Время и дата должны быть едины для всех камер, задействованных в наблюдении. (если имеется возможность выхода в интернет, то время и дата в камерах должны синхронизироваться с точным временем интернета).

2. Ввод дня недели для удобства работы с информацией в дальнейшем – это даст возможность указать день недели, например, пятница, и посмотреть, как изменялись корреспонденции в этот день в течение месяца.

3. Ввод геодезических координат места съёмки, адреса ближайшего здания (улица, номер дома).

4. Выбор направления движения, которое будет фиксировать камера (прямое или обратное).

5. Фотография места съёмки в jpg; чертёж участка УДС, который «прилегает» к месту съёмки в dwg.

6. Общий чертёж исследуемых участков УДС с отображением на нём расположения выбранной камеры.

7. Хранение видеозаписей каждой камеры.

Каждая камера будет фиксировать следующие данные:

1. регистрационный номер автомобиля;

2. время проезда автомобиля через сечение дороги, которое оборудовано камерой;

3. дата проезда автомобиля.

При запуске программы необходимо ввести количество пунктов наблюдения.

При въезде автомобиля на любой из пунктов наблюдения, перечисленные данные фиксируются, и для каждой камеры формируется следующая таблица (например, для камеры 1).

Таблица 2 – Данные по каждой камере (должны храниться для каждой камеры отдельно)

Номер ТС	Дата проезда	Время проезда
n <sub>11</sub>	dd.mm.yyyy <sub>11</sub>	hh.mm.ss <sub>11</sub>
n <sub>12</sub>	dd.mm.yyyy <sub>12</sub>	hh.mm.ss <sub>12</sub>

При въезде на второй пункт наблюдения формируется аналогичная таблица, данные первой и второй таблицы сопоставляются по регистрационным номерам ТС. Если номер зафиксирован и первой, и второй камерой, то для таких номеров формируется таблица 3.

Если номер зафиксирован первой камерой и не зафиксирован второй, то для таких номеров составляется таблица «Выбывшие номера», аналогичная таблице 2. Если номер не зафиксирован первой камерой и зафиксирован второй, то составляется таблица «Прибывшие номера», аналогичная таблице 2.

Эти данные будут сопоставляться с данными, полученными с третьей камеры, следующим образом. В первую очередь проверяются на совпадение данные из таблицы 2 для третьей камеры с данными таблицы 3, составленной по данным первой и второй камер. Если имеются совпавшие номера, то в таблице 3 заполняется ещё 3 столбца:

1) дата проезда 3 камеры;

2) время проезда 3 камеры;

3) время движения от 2 камеры до 3 камеры.

Таблица 3 – Сводная таблица продолжительности движения по участку УДС

Номер ТС	Дата проезда 1 камеры	Время проезда 1 камеры	Дата проезда 2 камеры	Время проезда 2 камеры	Время движения ТС от 1 камеры до 2 камеры	Дата проезда 3 камеры	Время проезда 3 камеры	Время движения ТС от 2 камеры до 3 камеры
n <sub>11</sub>	dd.mm.y УУУ 11	hh.mm.ss 11	dd.mm.y УУУ 21	hh.mm.ss 21	hh.mm.ss <sub>21</sub> -11	dd.mm.y УУУ 31	hh.mm.ss 31	hh.mm.ss <sub>31</sub> - 21
n <sub>12</sub>	dd.mm.y УУУ 12	hh.mm.ss 12	dd.mm.y УУУ 22	hh.mm.ss 22	hh.mm.ss <sub>22</sub> -12	dd.mm.y УУУ 32	hh.mm.ss 32	hh.mm.ss <sub>32</sub> - 22

Далее проверяются на совпадения номера из таблицы 2 для третьей камеры с таблицей «Прибывшие номера» для второй камеры. При совпадении номеров в таблицу 3 вносится запись, как для номера  $n_{12}$ . Если после проезда нескольких пунктов наблюдения номер выбывает, то запись о нём будет выглядеть как для номера  $n_{11}$ .

Среднее время движения через несколько пунктов наблюдения рассчитывается как сумма значений ячеек «Время движения ТС от № камеры до №+1 камеры» и фиксируется в дополнительном столбце таблицы 3. Среднее время движения ТС от № камеры до №+1 камеры рассчитывается как среднее значение в столбце «Время движения ТС от № камеры до №+1 камеры» и выводится в последней строке таблицы (для каждого аналогичного столбца).

Для 3 камеры и всех последующих также составляются списки «Выбывших» и «Прибывших номеров» ТС по аналогии с предыдущими камерами.

Составление матрицы корреспонденций будет проходить следующим образом: для каждого регистрационного номера ТС определяется пункт въезда и пункт выезда. ТС, которые зафиксированы при въезде первой камерой, будут распределены по первой строке таблицы 1. Пункт выезда: проверяется, есть ли записи в таблице 3 о движении ТС с определённым регистрационным номером через последующие пункты наблюдения. В качестве примера – движение ТС с регистрационным номером  $n_{11}$ . ТС въехало на первый пункт наблюдения. Проверяется, въехало ли ТС на второй пункт наблюдения. Если да, то проверяется, въехало ли ТС на третий пункт наблюдения и т.д. по аналогии. Если ТС с этим номером не въехало на 3 пункт наблюдения, то значение ячейки « $a_{12}$ » таблицы 1 увеличивается на единицу. Таким образом заполняется таблица 1.

В результате работы программы предполагается получение следующих данных:

- 1) таблица 2 – для каждой камеры;
- 2) таблица «Выбывшие номера» - для каждой камеры, начиная со второй;
- 3) таблица «Прибывшие номера» - для каждой камеры, начиная со второй;
- 4) таблица 3 – сводная таблица по всем камерам;
- 5) таблица 1 – сводная матрица корреспонденций по всем камерам.

Выходные данные должны быть представлены в виде таблиц (в формате Excel), также следует рассмотреть возможность вывода данных в виде графиков или диаграмм.

Таким образом, полученная динамическая матрица транспортных корреспонденций заносилась в имитационную модель, построенную в системе *Aimsun*. Динамическая модель участка УДС имеет следующий вид (рис. 3).

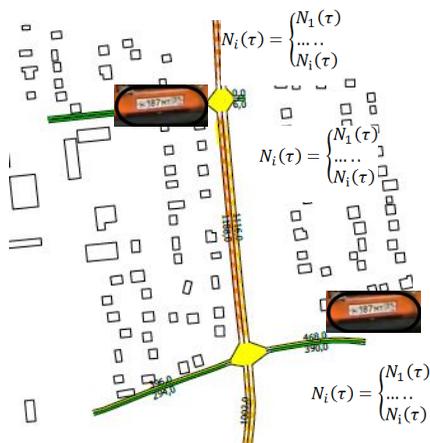


Рисунок 3 – Динамическая модель участка УДС с описанием интенсивности движения на основе единичных элементов матриц корреспонденций и фиксации номеров транзитного транспорта

Точность полученной модели оценивалась при помощи видеодетекторов транспорта ИНФОПРО. Оценка производилась по следующим показателям: скорость на участке УДС, плотность транспортного потока, интенсивность, время проезда участка. В результате для различных участков УДС пр. Ватутина г. Белгорода точность модели составила от 85% до 92%. Такие показатели дают возможность не только производить оценку мероприятий по реорганизации или реконструкции УДС, но и давать рекомендации по размещению объектов городской инфраструктуры на том или ином участке.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта № 14-41-08012 «р\_офи\_м».*

### Список литературы:

1. Семенов В.В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса. М.: Транспорт, 2004. 44 с.
2. Михайлов А.Ю., Головных И.М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов. Новосибирск: Наука, 2004. 267 с.
3. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. М.: Транспорт, 1977. 303 с.
4. Новиков И.А., Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Внедрение интеллектуальных транспортных систем в рамках национальных программ повышения безопасности дорожного движения // Проблемы повышения уровня безопасности, комфорта и культуры дорожного движения: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2013. С. 218-219.
5. Кадасев Д.А. Повышение системной безопасности транспортных потоков оптимизацией светофорного регулирования их движения: Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 2008. 19 с.
6. Новиков И.А., Гай Л.Е. Современные системы управления стояночными комплексами // Фундаментальное исследование в естественнонаучной сфере и социально-экономическое развитие Белгородской области: сборник докладов науч.-практ. конф., Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. Ч.1. С. 128-131.
7. Синюк В.Г., Поляков В.М., Анищенко А.И. Об одном гибридном алгоритме нечеткой кластеризации // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №2. С. 183-188.
8. Saul Wordworth. Will and sentiment: the automated highway to heaven // Traffic Technology International. 2006. October/November. P. 54-58.
9. Жанказиев С.В. Построение структуры базы данных нормативно-справочной информации в автоматизированной системе диспетчерского управления транспортом: методич. пособие МАДИ (ГТУ) под ред. В.М. Власова. М., 2007. 50 с.
10. Использование средств транспортной телематики в управлении маршрутизированным движением транспортных средств / С.В. Жанказиев, Д.Б. Ефименко, В.М. Власов, М.Ю. Ожерельев // методич. пособие МАДИ (ГТУ) / под ред. В.М. Власова. М., 2007. 87 с.