

УДК 004.02;004.6; 004.8; 004.9

## ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ СИТУАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

**Цветков В.Я.**, д.т.н., профессор

**Маркелов В.М.**, соискатель

МГТУ МИРЭА, Москва, Россия, E-mail:cvj7@mail.ru

**Аннотация.** В статье описан пространственный ситуационный анализ сложных ситуаций дорожного движения. Показана необходимость применения топологических моделей как средство снижения сложности ситуации. Описаны методические средства позволяющие проводить анализ сложно по топологии и по изменчивости ситуации дорожного движения. Показано, что матрица пространственных отношений является основой пространственного анализа.

**Ключевые слова.** геоинформатика, топология, ситуационный анализ, информационная ситуация, нечеткие числа, графы.

## SPACE SITUATIONAL ANALYSIS

**Tsvetkov V.Y.**, D. of Sci., professor

**Markelov V.M.**, competitor

MSTU MIREA, Moscow, Russia, E-mail:cvj7@mail.ru

**Abstract.** This article describes the spatial situational analysis of complex traffic situations. The necessity of applying topological models as a means of reducing the complexity of the situation. Describes the methodological tools allowing to analyze complicated topology and on the variability of traffic situation. Shown, that the matrix of spatial relations is the basis of spatial analysis..

**Keywords.** Geoinformatics, topology, situational analysis, information situation, fuzzy numbers, graphs

Пространственный ситуационный анализ – это вид анализа, который включает построение пространственных ситуаций [1] методами геоинформатики [2, 3], их анализ и принятие решений на этой основе. При сложных пространственных ситуациях возможна перемена локальной цели при сохранении стратегической. Например, изменение маршрута в связи с дорожной ситуацией, но при сохранении конечной точки маршрута. Выбор цели, исходя из оперативной ситуации, означает также применение разных критериев оптимизации [4]. Например, при перевозке груза могут возникать следующие ситуации с разными условиями решения оптимальной задачи:

Ситуация 1 критерий оптимальности — минимальное расстояние от точки погрузки до точки разгрузки (учет только стоимости перевозки без стоимости

разгрузки);

Ситуация 2 критерий оптимальности — минимальное время доставки от начального пункта до пункта назначения (скорая помощь, доставка питания в детские учреждения);

Ситуация 3 критерий оптимальности — минимальная стоимость доставки с учетом погрузки и разгрузки (учет перевозки и стоимости погрузочно/разгрузочных работ);

Ситуация 4 критерий оптимальности — минимизация затрат на стоимость аренды одной из точек разгрузки (склада);

Ситуация 5 критерий оптимальности — минимизация затрат при условии наступления некоего события (Например, авария или пожар);

Ситуация 6 изменение условий оптимальности в процессе перевозки (например, изменение конечного пункта доставки, выгрузка части груза на промежуточной остановке).

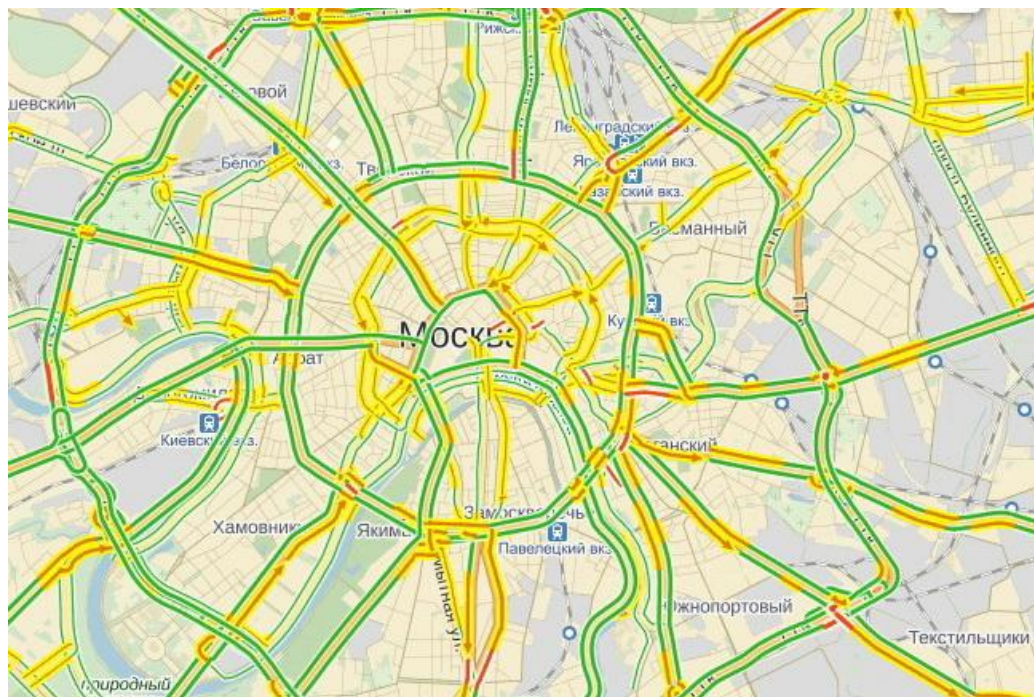
Поясним некоторые критерии. Случай 2 соответствует перевозке в городских условиях, например, когда множество светофоров или факторов, сдерживающих движение замедляют перевозку и повышают затраты на простой транспорта. Случай 4 относится к тому, когда на одном из складов истекают запасы и возможны убытки из-за отсутствия товаров на складе и, соответственно, их не поступление в торговые точки.

Случай 5 относится к нештатной ситуации, при которой, например, из-за аварии на пути, приходится существенно менять маршрут перевозки и заново решать задачу оптимизации.

Ситуация 6. Текущая директивная информация как основа изменения цели означает, что при начальном процессе выбора цели или в процессе осуществления перевозки поступает директивная информация от руководства, которая без всякой оптимизации требует доставки груза в ту или иную точку. Эта ситуация характерна при управлении вооруженными силами.

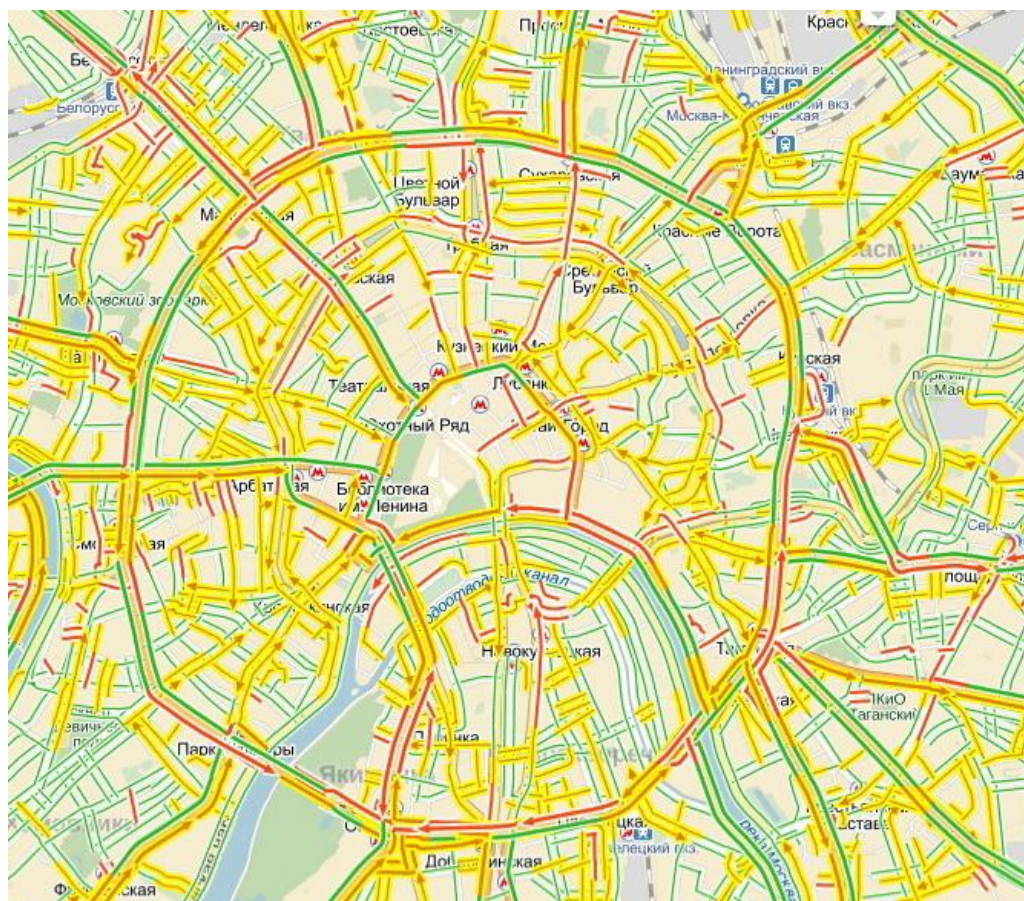
Таким образом, ситуации 1-6 являются основой для необходимости применения многоцелевого управления. Но это не исключает возникновение дополнительных ситуаций, которые также требуют пространственного анализа.

В реальных условиях ситуация, связанная с движением может существенно меняться. На рисунке 1 приведена пространственная ситуация в центре Москвы, когда движение нормальное и пробок нет.



**Рис.1.** Пространственная ситуация нормального функционирования

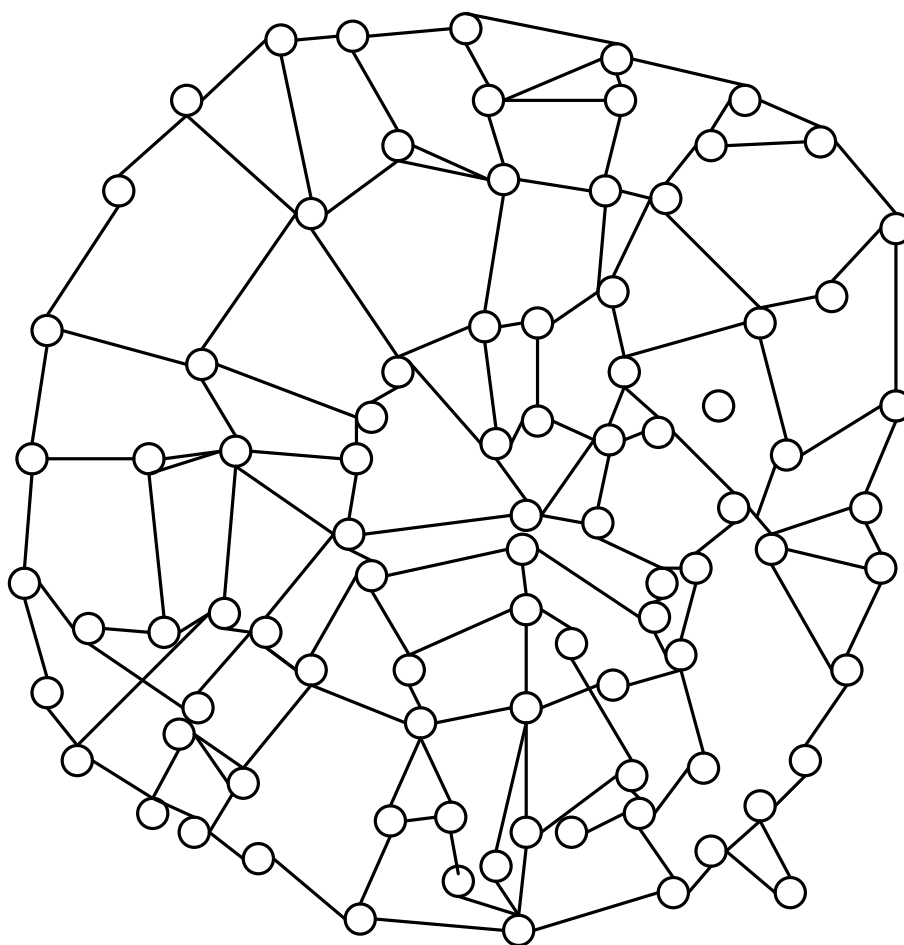
На рисунке 2 приведена ситуация наличия пробок (оценивается как 5 баллов при 10 шкале оценок).



**Рис. 2.** Пространственная ситуация при наличии проблем с движением

Использование геоинформационной системы, с топологическими моделями позволяет упрощать анализ пространственной ситуации [5]. На рис.3 показан граф, соответствующий нормальному состоянию движения, отраженному на рис.1.

Этот граф используется для обозначения возможных перемещений транспорта. Он строится на основе пространственного графа дорог, на который накладывается ситуация дорожного движения. В нем дуги показывают направления возможного перемещения от одного узла к другому на текущий момент времени. Этот граф соответствовал 11 часам дня.



**Рис.3.** Граф нормального состояния движения

На рисунке 4 показан граф, соответствующий напряженному состоянию движения, отраженному на рисунке 2. Этот граф соответствовал 18 часам дня.

Рисунки 3 и 4 позволяют проводить сравнительный анализ и использовать вычислительные методы. Видно, что граф на рис.4 имеет разрывы. Некоторые дуги отсутствуют, что определяет отсутствие возможности движения в этот период времени движения.

Совокупность дуг определяет возможные маршруты. Чем меньше дуг, тем меньше возможность выбора маршрутов.

В таблице 1 приведена матрица пространственных отношений. Это матрица, инцидентная графу дорожной ситуации, где цифрой 1 отражена дуга между соответствующей вершиной  $V_i$ . Значение 0 означает отсутствие дуги (связи). В ситуации дорожного движения 0 означает невозможность прямого перемещения между этими пунктами.

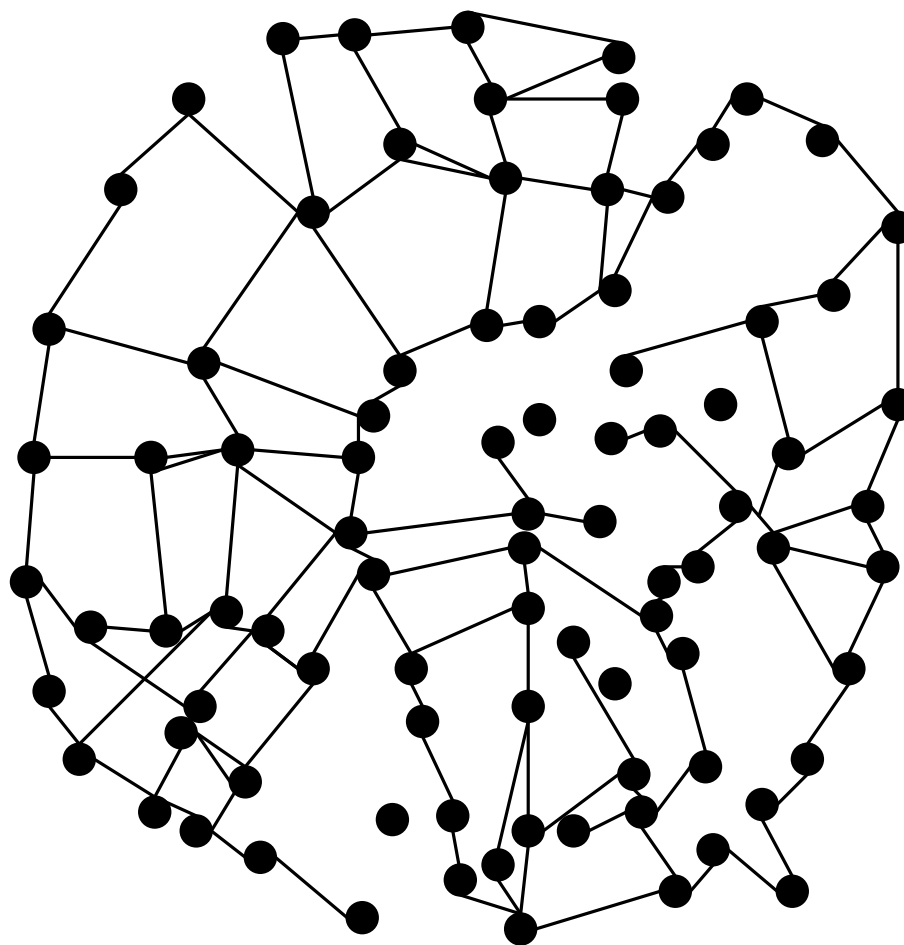


Рис.4. Граф напряженного движения

Таблица 1.

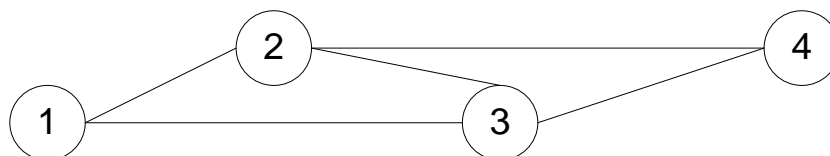
**Матрица пространственных отношений**

	V1	V2	V3	V4		Vn
V1		1	1	0		1
V2	1		1	1		1
V3	1	1		1		0
V4	0	1	1			0
Vn	1	1	0	0		



Если бы мы хотели определить маршрут из вершины V1 в вершину V4, то это отражено штриховкой соответствующих клеток матрицы.

В соответствии с данными матрицы 1, граф такого маршрута имеет вид, приведенный на рис. 5.

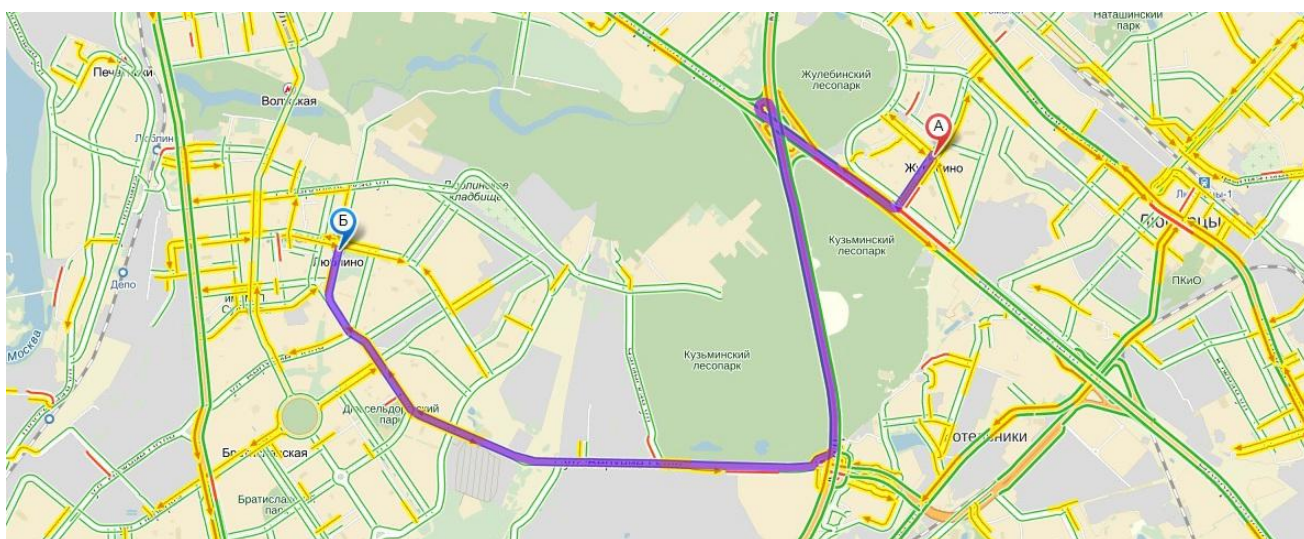


**Рис.5** Граф сложного маршрута

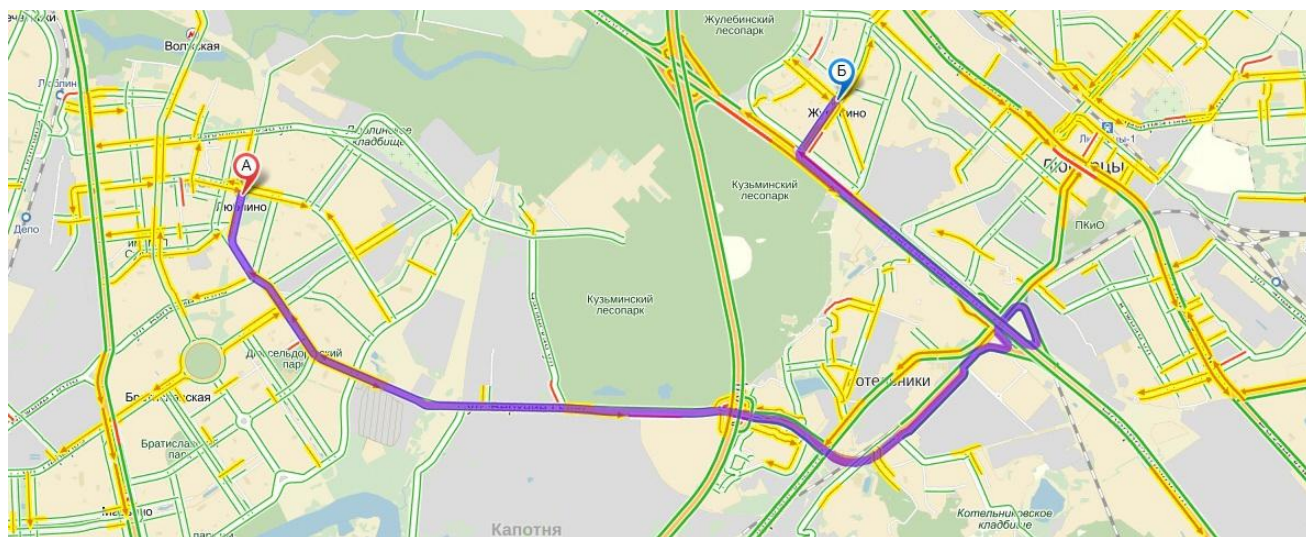
Этот граф определяет следующие комбинации маршрутов 124, 134, 1234. Аналогично тому как на основе пространственной ситуации (рис.1) строится граф движения (рис.3), точно также на основе матрицы пространственных отношений (таблица) 1. строятся другие матрицы которые служат основой для расчетов оптимальности прокладки маршрута.

На рисунке 6 показан автотранспортный маршрут «Жулебино-Люблино». По данным службы дорожного движения для времени суток от 12 до 16 часов время движения по маршруту Жулебино Люблино составляет 21 минуту. Расстояние по маршруту составляет 12 км, что определяет скорость движения равную 34,4 км/час

На рисунке 7 показан автотранспортный маршрут «Люблино – Жулебино». Видно рисункам 6 и 7, что конфигурация маршрутов в прямом и обратном направлении существенно различаются. Это подтверждается данными службы дорожного движения.



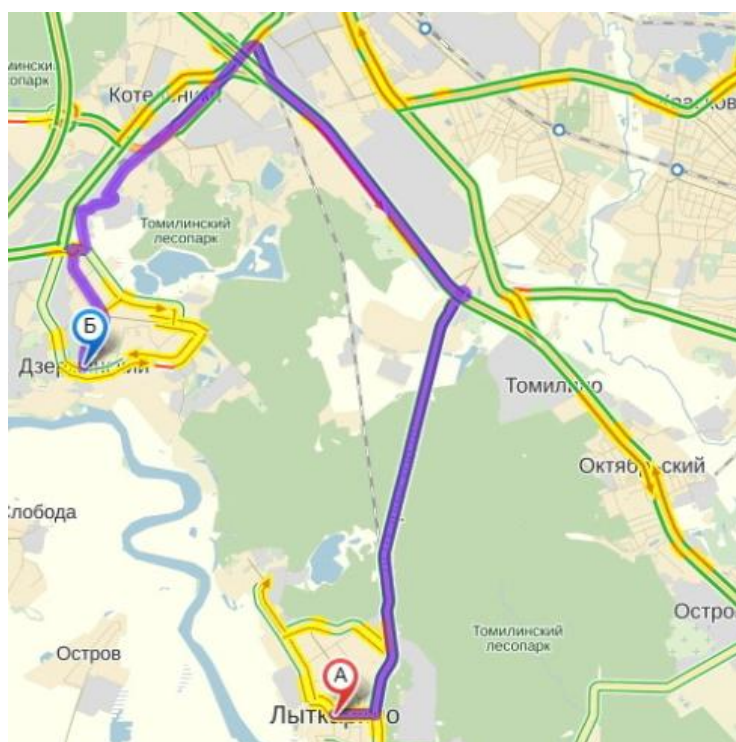
**Рис.6.** Маршрут Жулебино -Люблино



**Рис.7.** Маршрут Люблино – Жулебино

По данным службы дорожного движения для времени суток от 12 до 16 часов время движения по маршруту Люблино Жулебино составляет 29 минут. Расстояние по маршруту составляет 14 км, что определяет скорость движения равную 29 км/час. Обращает внимание, что изменились все три показателя движения. Это дает основание говорить о наличии возможной асимметрии в дорожном движении.

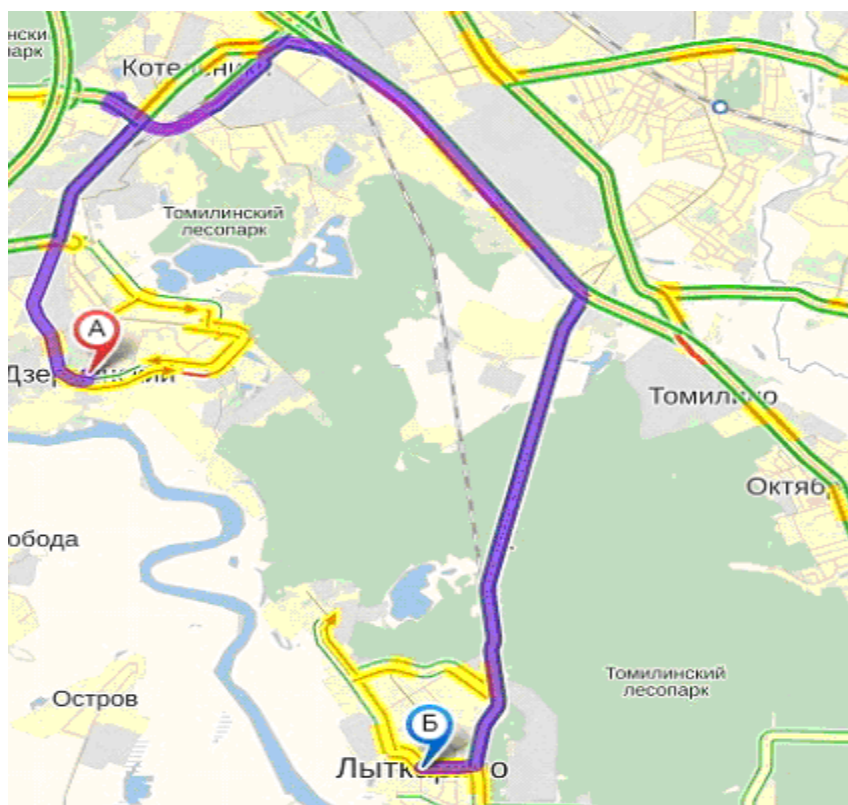
На рисунках 8 и 9 приведены данные о другом маршруте «Дзержинский-Лыткарино».



**Рис.8.** Маршрут движения из Лыткарино в Дзержинский.

Для маршрута, показанного на рисунке 8, имеются следующие данные дорожного движения. Для времени суток от 12 до 16 часов время движения по маршруту Лыткарино Дзержинский составляет 37 минут. Расстояние по маршруту составляет 19 км, что определяет скорость движения равную 31 км/час.

Для маршрута, показанного на рисунке 9, имеются следующие данные дорожного движения. Для времени суток от 12 до 16 часов время движения по маршруту Дзержинский Лыткарино составляет 47 минут. Расстояние по маршруту составляет 19 км, что определяет скорость движения равную 24,3 км/час.



**Рис.9.** Маршрут движения из поселка Дзержинский в Лыткарино.

Видно, что расстояние в обе стороны одинаковое, но время движения в одну сторону отличается от времени движения в обратную сторону на 10 минут. Эти данные получены по данным службы мониторинга дорожного движения.

Такая ситуация имеет место за счет разных типов дорог (главная, не главная) и условий движения. Кроме того, времена перемещения на вышерассмотренных маршрутах существенно меняются в зависимости от интервала движения в течение рабочего дня. Существует существенная зависимость времени перевозки от времени в течение дня.

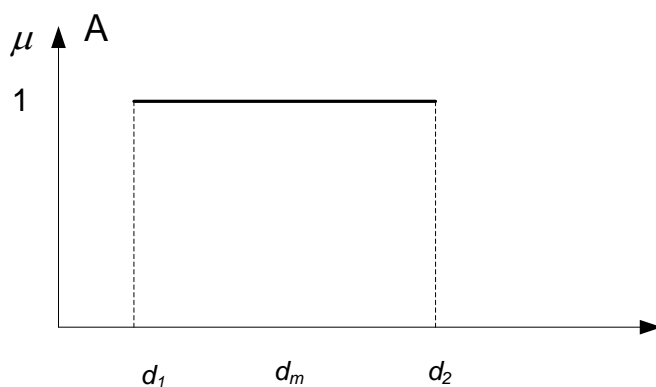
Это дает основание утверждать, что при перевозках нецелесообразно применять



точечное оценивание времени, расстояния, и затрат. Точечным называется оценивание одной величины одной цифрой. На графике такому оцениванию соответствует точка. Вариабельность условий движения делает целесообразным применение для этой цели нечетких чисел, которые подразделяются на интервальные, треугольные и трапецевидные.

Такой подход доказан в ряде работ [6, 7]. Опишем кратко нечеткие числа и их применимость при анализе пространственной ситуации.

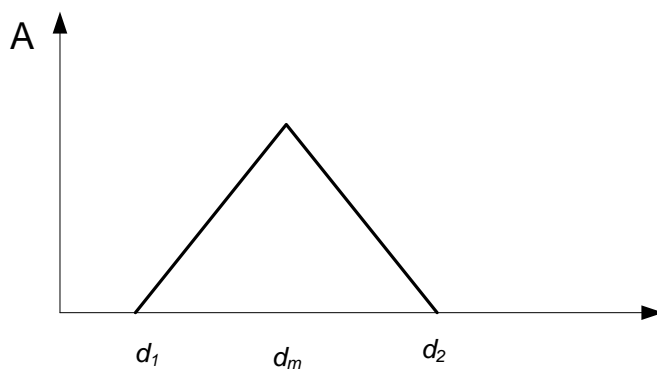
На рис.10– 12 приведены нечеткие числа. На рис.10. дано интервальное число. На практике оно описывает расстояние, когда возможные длины маршрутов ограничены «не менее» ( $d_1$ ) и «не более» ( $d_2$ ).



**Рис.10.** Интервальное число

График на рис.10 отражает как фактическое значение числовой величины ( $A$ ), так и значение функции принадлежности  $\mu$ . На уровне 1 она достоверна.

На рис.11. показано треугольное число. Треугольное число отражает ситуацию когда наиболее достоверно одно значение ( $d_m$ ), но возможны разбросы вверх и вниз.

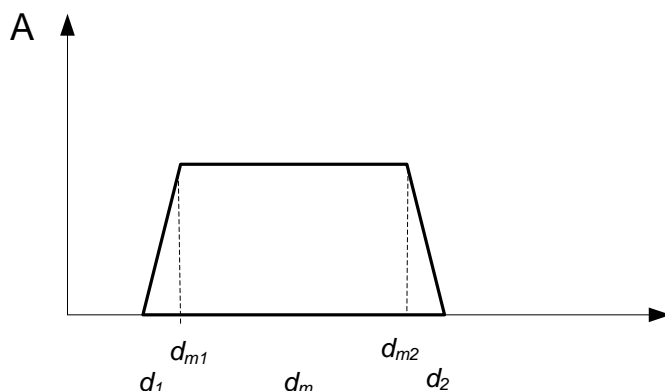


**Рис.11.** Треугольное число.

Примерами таких величин является измерение с помощью прибора, который

показывает одно наиболее вероятное значение, но при этом прибор мерить с погрешностью  $\pm d_{1,2}$ . В пространственной ситуации это соответствует движению без светофоров, но изменение скорости обусловлено разными частыми факторами на дороге.

На рис.10. приведено трапецевидное число



**Рис. 12** Трапецевидное число

В пространственной ситуации это соответствует движению со светофорами в режиме «зеленой волны», при котором движение в интервале 50-60 км/час равнозначно и проходит по зеленый свет. Изменение скорости (боковые грани трапеции) обусловлено разными факторами на дороге.

После определения нечетких чисел можно вводить три основные матрицы оценки пространственной ситуации: матрицу временных отношений; матрицу расстояний; матрицу затрат.

В таблице 2 приведена матрица расстояний или длин маршрутов ( $L$ ). В ней использованы точечные значения ( $L1$ ) и интервальные значения ( $L1, L2$ )

Таблица 2

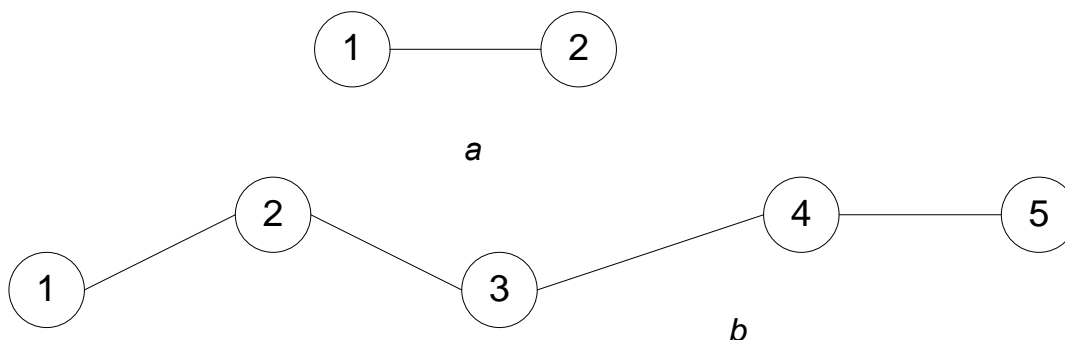
**Матрица расстояний маршрутов**

	V1	V2	V3	V4		Vn
V1		L1	L1;L2	0		L1
V2	L1		L1;L2	L1;L2		L1
V3	L1;L2	L1;L2		L1		0
V4	0	L1;L2	L1			0
Vn	L1	L1	0	0		

Это обусловлено тем, что для простых маршрутов , то есть для маршрутов между двумя вершинами графа или для маршрутов которые описываются только одной

линейной цепочкой, а не сетью, - длина маршрута величина постоянная.

На рис.13 показаны примеры простых маршрутов.

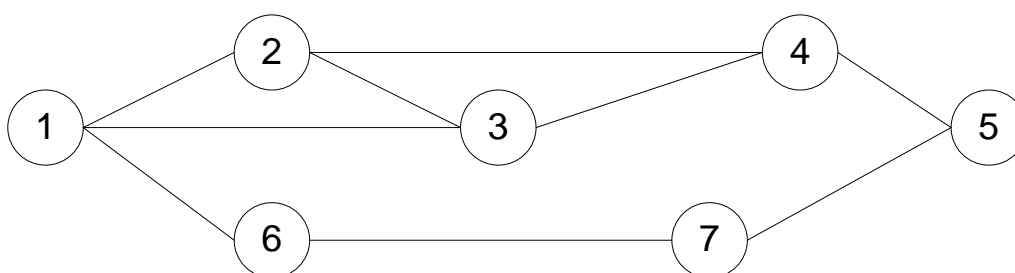


**Рис.13.** Примеры простых маршрутов.

На рисунке 13 для варианта а) изображено звено. На рисунке 13 б) дана линейная цепочка. Общим для таких маршрутов является постоянства длины маршрута. Это дает основание ввести определение простого маршрута как маршрута, длина  $L_1$  которого постоянна, а граф не имеет сетевой структуры.

Длина сложного маршрута (рис.5 и рис.14) длина задается интервалом  $L_1;L_2$ . Сложным будем называть маршрут, который имеет сетевую структуру и, следовательно, при его реализации возможны комбинации, которые приводят к разным длинам маршрутов.

На рис. 14 приведен пример сложного маршрута. Пункт отправления вершина с номером 1, пункт назначения – вершина с номером 5.



**Рис. 14.** Сетевой граф с набором возможных маршрутов.

Такой граф называют транспортным графом. Возможны следующие комбинации маршрутов (1245; 12345; 1345; 1675). Этот граф является упрощенной моделью городской ситуации. В случае стационарных условий движения, выбирают маршрут, отвечающий условиям оптимальности. Но в случае изменения ситуации, оптимальный маршрут может быть любым. Поэтому в общем случае длина маршрута будет иметь

столько значений, сколько существует возможных комбинаций маршрута их начальной точки в конечную.

В нашем случае каждый возможный маршрут имеет частную длину

$l_1 = \text{Length of route}(1245)$ ;  $l_2 = \text{Length of route}(12345)$ ;

$l_3 = \text{Length of route}(1345)$ ;  $l_4 = \text{Length of route}(1675)$ .

Эти значения частных длин задают интервал  $L_1, L_2$

$L_1 = \min [l_1 = \text{Length of route}(1245); l_2 = \text{Length of route}(12345); l_3 = \text{Length of route}(1345); l_4 = \text{Length of route}(1675)]$

$L_2 = \max [l_1 = \text{Length of route}(1245); l_2 = \text{Length of route}(12345); l_3 = \text{Length of route}(1345); l_4 = \text{Length of route}(1675)]$

Любые значения длин маршрутов лежат внутри этого интервала. Таким образом, матрица приведенная в таблице 2, включает точечные и нечеткие (интервальные) значения. Следует также подчеркнуть, что матрица пространственных отношений (таблица 1) является родовидовой для этой и других матриц оценки маршрутов.

Следующая матрица оценки маршрутов – это матрица временных отношений, которая приведена в таблице 3.

Таблица 3.

### Матрица временных отношений

	V1	V2	V3	V4		Vn
V1		T1;T2	T1;T2;T3	0		T1;T2;T3
V2	T3;T4		T1;T2	T1;T2;T3;T4		T1, T2
V3	T1;T2;T3	T3;T4		T1;T2;T3		0
V4	0	T1;T2;T3;T4	T5;T6;T7			0
Vn	T1;T2;T3	T1, T»	0	0		

Матрица временных отношений показывает время перемещения из одной вершины в другую, а общее время движения по маршруту определяется совокупностью времен звеньев, входящих в маршрут. Как отмечено выше, время движения может различаться в зависимости от направления движения, даже в том случае, когда длина маршрута неизменна. Кроме того, на время движения влияет время суток, что связано с загруженностью трасс. Все это обуславливает введение: интервальных ( $T_1, T_2$ ). Треугольных ( $T_1, T_2, T_3$ ) и трапецевидных ( $T_1, T_2, T_3, T_4$ ) - чисел для оценки времени перемещения.

Кроме того, матрица временных отношений (таблица 3) может быть



ассиметричной. Это обусловлено тем, что время движения по обратному маршруту не равно движению времени по прямому маршруту, даже при неизменной длине маршрута в прямом и обратном направлении. Это обстоятельство отражено в таблице 3 тем, что отношение между вершинами V2-V3 в одну сторону задается интервалом T1,T2, а в другую V3-V2 отношением T3,T4. Асимметрия имеет место и в отношении вершин V3-V4. В одну сторону оно отражается треугольным числом T1, T2, T3, а в другую треугольным числом T5, T6, T7.

Однако важно отметить качественное соответствие чисел. Если в одну сторону дается интервальная оценка, то и в другую сторону эта оценка тоже будет интервальной. Если в одну сторону дается треугольная оценка, то и в другую сторону эта оценка тоже будет треугольной. Если в одну сторону дается трапецевидная оценка, то и в другую сторону эта оценка тоже будет трапецевидной.

Общий вывод для временных отношений имеет место симметрия по качественной характеристики и возможная асимметрия по количественной характеристике.

В таблице 4 приведена матрица затрат. Это наиболее сложный показатель, но в качественном плане он близок к матрице временных отношений, поскольку эта характеристика более вариабельна и эту вариабельность она накладывает на характер затрат. Еще раз напомним, что родовидовой для матрицы затрат (таблица 4) является матрица пространственных отношений (таблица 1).

Таблица 4.

#### Матрица затрат

	V1	V2	V3	V4		Vn
V1		C1;C2	C1;C2;C3	0		C1;C2;C3
V2	C3;C4		C1;C2	C1;C2;C3;C4		C1;C2
V3	C1;C2;C3	C3;C4		C1;C2;C3		0
V4	0	C1;C2;C3;C4	C5;C6;C7			0
Vn	C1;C2;C3	C1;C2	0	0		

Возникает вопрос оценки характеристик маршрута по данным таблиц 2, 3, 4. Это представляет определенные трудности, поскольку обработка нечетких чисел отличается от обработки обычных чисел и требует определенной подготовки. Тем не менее, в настоящее время накоплен достаточный опыт [8, 9], позволяющий решать данные задачи. Следует также отметить, что, при использовании нечетких чисел, широко используют нечеткие графы [8].

Следующим шагом является выбор оптимальных величин таблиц 2 – 4. Для этой цели используют «матрицы кратчайших» величин по левым границам ( $d_1$  рис.8 – 10), по правым границам ( $d_2$  рис.8 – 10), по центрам ( $d_m$  рис.8 – 10) [9].

После этого используют методы теории предпочтений [10] для выбора оптимального маршрута.

Таким образом, современная оценка характеристик маршрута лежит в области нечетких чисел и практически исключает обычный анализ, использующий точечные величины.

Применение описанной методики позволяет адекватно оценивать характеристики маршрутов в условиях современного движения со сложной меняющейся обстановкой и асимметричными характеристиками движения.

### Список литературы

1. V. Ya. Tsvetkov. Information Situation and Information Position as a Management Tool // European Researcher, 2012, Vol.(36), № 12-1, p.2166- 2170.
2. Соловьев И.В. Применение модели информационной ситуации в геоинформатике // Науки о Земле. 2012. № 01. С. 54-58.
3. Майоров А.А., Цветков В.Я. Геоинформатика как важнейшее направление развития информатики // Информационные технологии. 2013. № 11. С. 2-7
4. V. Ya. Tsvetkov Multipurpose Management// European Journal of Economic Studies 2012, Vol.(2), № 2 p.140-143.
5. Дышленко С.Г., Демиденко А.Г., Железняков В. А., Цветков В.Я. Новые возможности ГИС "Панорама // Кадастр недвижимости. – 2010. - №3(20). –с.101-103.
6. Розенберг И.Н., Старостина Т.А. Минимаксная задача размещения обслуживающих пунктов в нечетких условиях. Системы и средства информатики. Спецвыпуск №2. «Математические методы в информатике». Издательство ИПИ РАН, Москва, 2002, с.206-219.
7. Розенберг И.Н., Старостина Т.А. Решение задач пространственной оптимизации // Системы и средства информатики. Специальный выпуск «Геоинформационные технологии»/ Под ред. И.А. Соколова. Москва: ИПИ РАН, 2004. – с. 213-231.
8. Берштейн Л.С., Боженюк А.В. Нечеткие графы и гиперграфы. М.: Научный мир, 2005. – 256с.
9. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. / Пер. с франц. В.Б. Кузьмина; Под ред. С.И. Травкина. - М.: Радио и связь, 1982 г. – 432 с.
10. Цветков В.Я. Основы теории предпочтений.- М.: Макс Пресс 2004 - 48с.