

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ
В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ГИС “ITSGIS”**

© 2014 С.В. Михеев, Д.А. Михайлов, И.Г. Богданова

Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 17.12.2013

Рассматриваются вопросы установления существующей и прогнозирования перспективной интенсивности транспортных потоков на основе методов нейросетевого анализа. Спроектирована схема базы данных интенсивности, разработан алгоритм визуализации данных в среде интеллектуальной геоинформационной системы.

Ключевые слова: интенсивность транспортных потоков, нейросетевой анализ, геоинформационная система.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе разработок целевых программ, обоснований инвестиций и инженерных проектов строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог актуальной задачей является прогнозирование интенсивности движения транспортных потоков.

Наблюдаемый рост автомобильного парка и, как следствие, увеличение интенсивности транспортных потоков, требует проведения исследования существующих потоков и их прогнозирования. Периодический учет интенсивности транспортного потока является важной задачей, позволяющей разрабатывать мероприятия, направленные на повышение безопасности дорожного движения, изучать тенденцию изменения транспортных потоков и эффективно бороться с аварийностью. Эту задачу позволяет решать программный модуль геоинформационной системы ITSGIS “Учет интенсивности транспортного потока”.

Необходимыми этапами исследования являются расчет существующей и прогнозирования ожидаемой на некоторый перспективный период среднегодовой суточной интенсивности движения на участках сети автомобильных дорог общего пользования, на улично-дорожной сети (УДС) городов, в пригородной зоне крупных городов при оценке интенсивности движения автотранспорта, выезжающего с рекреационными целями, а также средней скорости движения автотранспортных средств, объемов грузовых и

пассажирами перевозок на сети автомобильных дорог общего пользования.

Специфика прогнозирования интенсивности движения на автомобильных дорогах в городских условиях обусловлена наличием на территории города зон, предъявляющих разные требования по обслуживанию транспортом, которые могут изменяться как по времени суток, так и по структуре допускаемых на них автотранспортных средств, а именно: жилые зоны, зоны торговли, промышленные зоны, зоны непромышленного приложения труда (офисные зоны).

**НЕЙРОТЕХНОЛОГИИ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И
ИНТЕНСИВНОСТИ ПОТОКОВ**

Главной задачей нейротехнологии является разработка методов создания функциональных нейросетевых схем для решения конкретных прикладных задач. В рамках геоинформационной системы “ITSGIS” – это задача прогнозирования интенсивности транспортных потоков. Методы различаются деталями предположений о работе нейрона и способами их связей между собой.

На качество обработки информации существенное влияние оказывает структура нейронной сети. Для многослойной нейронной сети с последовательными связями структура определяется количеством слоев и нейронов в каждом из слоев сети. Подбор структуры сети является нетривиальной задачей: сети с простой структурой дают грубый результат, а сети со сложной структурой не способны работать на новых данных (проблема “переобучения”). Поэтому в последнее время большой интерес проявляется к механизмам самоорганизации нейронных сетей.

Самоорганизация, как метод адаптивного синтеза сложных систем, основана на предположе-

Михеев Сергей Владиславович, кандидат технических наук, доцент кафедры организации и управления перевозками на транспорте. E-mail: mikheevati@its-spc.ru
Михайлов Дмитрий Александрович, аспирант. E-mail: mikheevati@its-spc.ru
Богданова Ирина Геннадьевна, аспирант. E-mail: mikheevati@its-spc.ru

нии, что информация о взаимной корреляции переменных скрыта в экспериментальных значениях этих переменных. В теории самоорганизующихся нейронных сетей существуют течения, развивающиеся параллельно:

- многослойные нейронные сети с эволюционирующей архитектурой;
- дважды многорядные самоорганизующиеся нейронные сети с активными нейронами.

Многослойные нейронные сети основаны на модели МакКаллока-Питтса, в то время как дважды многорядные самоорганизующиеся нейронные сети используют метод группового учета аргументов.

Несмотря на разнообразие искусственных нейронных сетей по своим конфигурациям, сетевые парадигмы имеют много общего. Принцип самоорганизации моделей этих типов сетей одинаков и требует предварительного выбора исходной модели, наличия механизма мутации моделей и критерия их отбора. В многослойных нейронных сетях по модели МакКаллока-Питтса используется эволюционное формирование архитектуры с применением *генетического алгоритма*, для чего необходимо выбрать схему непосредственного или косвенного кодирования нейронной сети. Схема непосредственного кодирования подразумевает вид кодирования, при котором каждая связь нейронной сети непосредственно задается его двоичным представлением. Недостатком данного подхода является квадратичное увеличение длины генотипа при росте узлов нейронной сети, что делает его приемлемым только для небольших размеров сетей.

Схема косвенного кодирования подразумевает описание наиболее важных свойств сети вместо перечисления всех связей. Основное достоинство данного подхода – это компактное представление связей. Существуют различные методы косвенного кодирования. После того как схема кодирования выбрана, выполняется построение сети с использованием одного из алгоритмов эволюционного построения нейронной сети.

Метод, реализующий процесс построения

дважды многорядной нейронной сети с активными нейронами, позволяет синтезировать нелинейную структуру многопараметрической регрессионной модели. В основу метода положены принципы неокончателности решений, внешнего дополнения, массовой селекции.

Принцип неокончателности решений заключается в необязательности сохранения самых лучших решений на каждом шаге самоорганизации, комбинация которых на следующих шагах может дать лучший результат. Это приводит к необходимости подбора оптимального числа переменных для каждого последующего шага самоорганизации.

На первом шаге производится построение евклидова расстояния L_i от каждого наблюдения x_{ij} до других наблюдений x_{aj} :

$$L_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_{aj})^2},$$

где x_{ij} – значение j -й переменной в i -й анализируемой точке; x_{aj} – значение аналога; n – количество наблюдений.

На втором шаге в качестве аналога выбирается наблюдение, которое расположено наиболее близко к текущему. Для всех наблюдений в выборке данных находятся их аналоги.

На последующих шагах происходит постепенное усложнение множества переменных с использованием переменных, отобранных на предыдущих итерациях. Для поиска адекватной аналитической модели скрытой в зашумленных данных, используются внешние критерии, основанные на новых данных, не используемых при построении модели.

По схеме массовой селекции работают алгоритмы метода группового учета аргументов (МГУА). Они содержат генерацию комбинаций переменных и отбор лучших комбинаций по заданному критерию. В алгоритмах МГУА математическая модель строится поэтапно – в несколько рядов селекции (рис. 1):

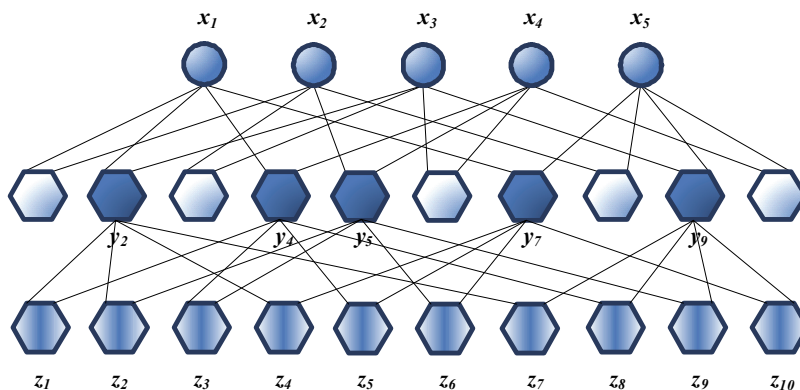


Рис. 1. Этапы построения рядов селекции в МГУА-алгоритмах

- первый ряд содержит комбинации входных переменных: $y_1 = f(x_1, x_2)$, $y_2 = f(x_1, x_3)$, ..., $y_s = f(x_{m-1}, x_m)$;

- второй ряд содержит комбинацию значений полученных на первом ряду селекции: $z_1 = f(y_1, y_2)$, $z_2 = f(y_1, y_3)$, ..., $z_p = f(y_{s-1}, y_s)$;

- третий ряд содержит комбинацию значений полученных на втором ряду селекции и т. д.

Вид функции f выбирается в зависимости от априорных знаний об исследуемой системе. Сложность комбинаций на каждом ряду селекции усложняется, так как входные аргументы и промежуточные переменные сопрягаются попарно. Селекция останавливается при достижении оптимальной модели по заданному критерию.

Многорядные алгоритмы МГУА можно применять, когда число точек N в эмпирических данных меньше числа аргументов n в аналитической модели системы. Методы регрессионного анализа в этом случае неприменимы, так как не позволяют построить единственную модель, адекватную исследуемой системе за пределами интервала интерполяции.

“ITSGIS” – ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА

“ITSGIS” – интеллектуальная геоинформационная система (ГИС) с многослойной электронной картой города, обеспечивающая работу с различными геообъектами городской инфраструктуры. “ITSGIS” предназначена для автоматизации работ, выполняющих функции учета объектов городской инфраструктуры на геоинформационных технологиях. “ITSGIS” применяется в градостроительстве и архитектуре, учете использования природных ресурсов, проектировании и прокладке инженерных коммуникаций, строительстве и эксплуатации объектов на транспорте, геологических исследованиях, в логистике.

С целью обоснования инженерного проекта строительства жилого поселка в Калужской области проведены измерения существующей и выполнен расчет прогнозной интенсивности движения транспортных потоков. Расчет осуществлен в среде “ITSGIS” на основе метода группового учета аргументов. Кроме модуля прогнозирования “ITSGIS” содержит подсистему учета интенсивности транспортных потоков, позволяющую осуществлять хранение, обработку и прогнозирование распределенных данных об интенсивности транспортных потоков на улично-дорожной сети, а также визуализацию имеющейся информации на электронной карте. Интенсивность является основной характеристикой транспортного потока. В качестве расчетного периода

времени для определения интенсивности принимают год, месяц, сутки, час и более короткие промежутки времени (минуты, секунды) в зависимости от поставленной задачи наблюдения и средств измерения. Транспортный поток обусловлен неравномерностью во времени (в течение года, месяца, суток и даже часа). Поэтому при расчете интенсивности используются соответствующие коэффициенты неравномерности. Данные коэффициенты вычислены для годовой, суточной и часовой неравномерностей движения. Неравномерность может быть выражена как доля интенсивности движения, приходящаяся на данный отрезок времени, либо как отношение наблюдаемой интенсивности к средней за одинаковые промежутки времени. За единицу выражения интенсивности приняты натуральные единицы (авт/ч) и приведенные (ед/ч). Натуральными единицами являются различные виды транспорта. За приведенную единицу измерения принят легковой автомобиль, остальные транспортные средства приводятся к легковому автомобилю с помощью коэффициентов приведения.

Программный модуль учета интенсивности транспортного потока предназначен для сбора, обработки, хранения данных, полученных в результате проведения измерений интенсивности транспортных потоков, и визуализации их на электронной карте города. Информация об объектах хранится в базе данных, логическая схема которой представлена на рис. 2.

Объект “Интенсивность” привязывается к дуге графа улично-дорожной сети города. Граф улично-дорожной сети, являясь элементом картографической подосновы геоинформационной системы “ITSGIS”, предназначен для решения задач моделирования транспортных потоков (ТрП) с использованием информации об их интенсивности. Информация об объектах хранится в БД.

Модуль учета интенсивности транспортного потока предоставляет пользователю инструмент ввода исходных данных в базу данных. Исходными данными являются: направление движения ТрП, количество транспортных единиц разного типа, период учета и др. При добавлении объекта интенсивности в БД производится расчет всех типов интенсивности с учетом коэффициентов неравномерности, приведения транспортных единиц. Результаты расчетов заносятся в БД. В подсистеме имеется возможность ведения справочников: нормативный документ расчета интенсивности, коэффициенты месяца года, дня недели, времени суток, тип транспортного средства, тип интенсивности.

На основе хранимой информации об интенсивности формируется сводная ведомость, содержащая информацию о дате и времени учета, типе

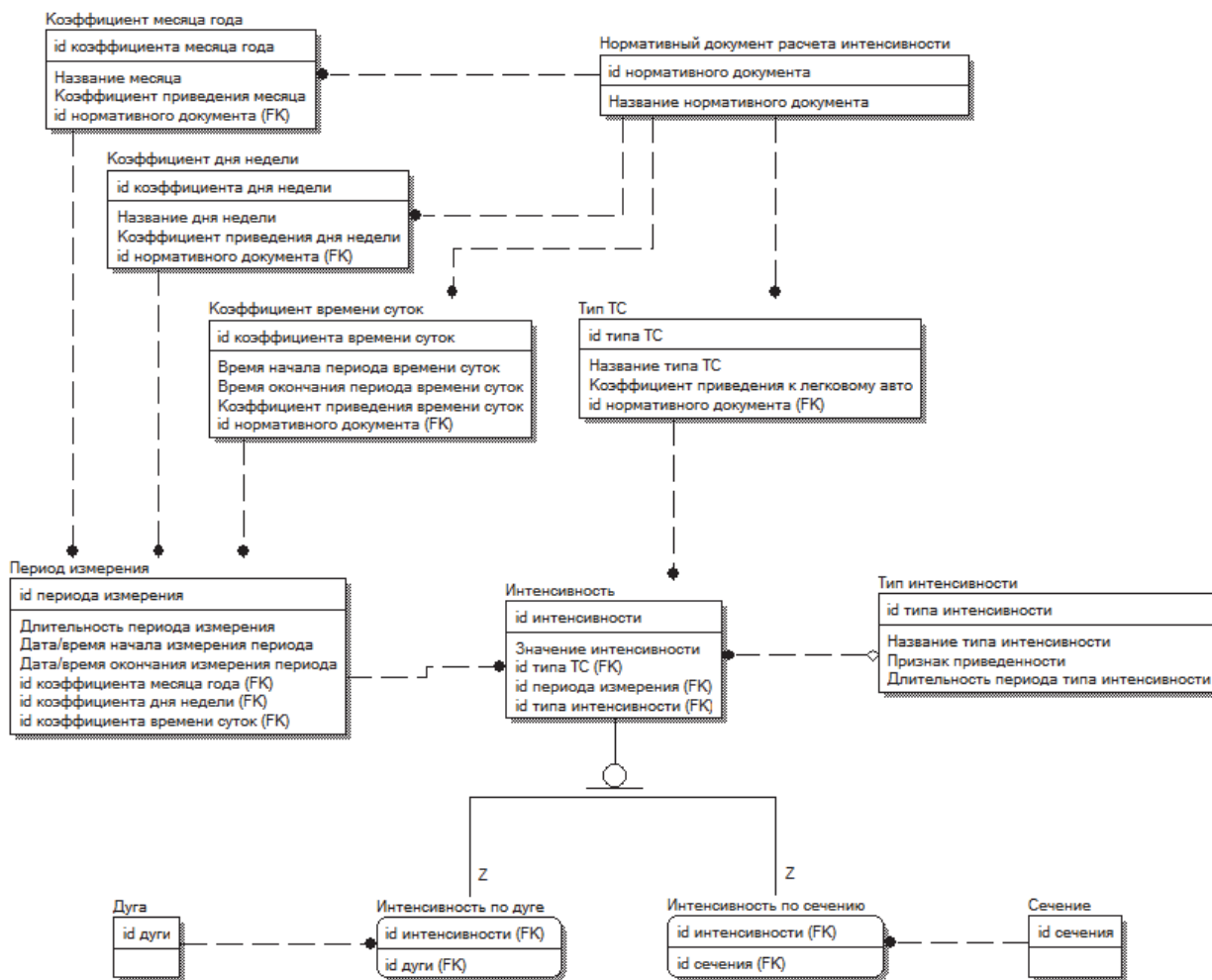


Рис. 2. Логическая модель базы данных

транспортного средства, типе интенсивности и само значение интенсивности. По сводной ведомости может быть получен отчет за любой заданный пользователем учетный период и для любого выбранного направления движения ТрП.

Прогнозирование интенсивности движения представляет собой двухэтапную процедуру, первый этап которой заключается в прогнозе спроса на передвижения транспортных средств, а второй – в прогнозе распределения спроса на передвижения по соответствующей улично-дорожной сети.

Опишем спрос на передвижения в городе набором матриц корреспонденций. Результатом прогноза будут являться матрицы суточных корреспонденций легкового и грузового транспорта. Матрицы корреспонденций рассчитаем между транспортными районами города, число которых исходя из численности населения в нем и уровня автомобилизации принято равным 11. Расчет матриц трудовых и деловых корреспонденций для текущего периода и на перспективу выполняется в результате решения задачи максимизации энтропии:

$$\sum_{i=1, j=1}^N x_{ij} * \ln \left(\frac{P_{ij}}{x_{ij}} \right)$$

при ограничениях: $\sum_{j=1}^N x_{ij} = A_i, \sum_{i=1}^N x_{ij} = B_j$, где N

– количество транспортных районов; x_{ij} – величина трудовых или деловых корреспонденций из района i в район j , реализующихся с использованием индивидуального легкового транспорта, авт./сут.; A_i, B_j – величины объемов отправок и прибытия трудовых или деловых корреспонденций для района i ; P_{ij} – априорные предпочтения участников движения, пользующихся индивидуальным легковым транспортом.

$P_{ij} = \exp(-\gamma * t_{ij})$, где t_{ij} – время сообщения между районами i и j на легковом транспорте, определяемое в результате построения кратчайших по времени сообщения путей на графе УДС с учетом затрат времени на выход на нее; γ – коэффициент предпочтения, уточняемый в процессе калибровки.

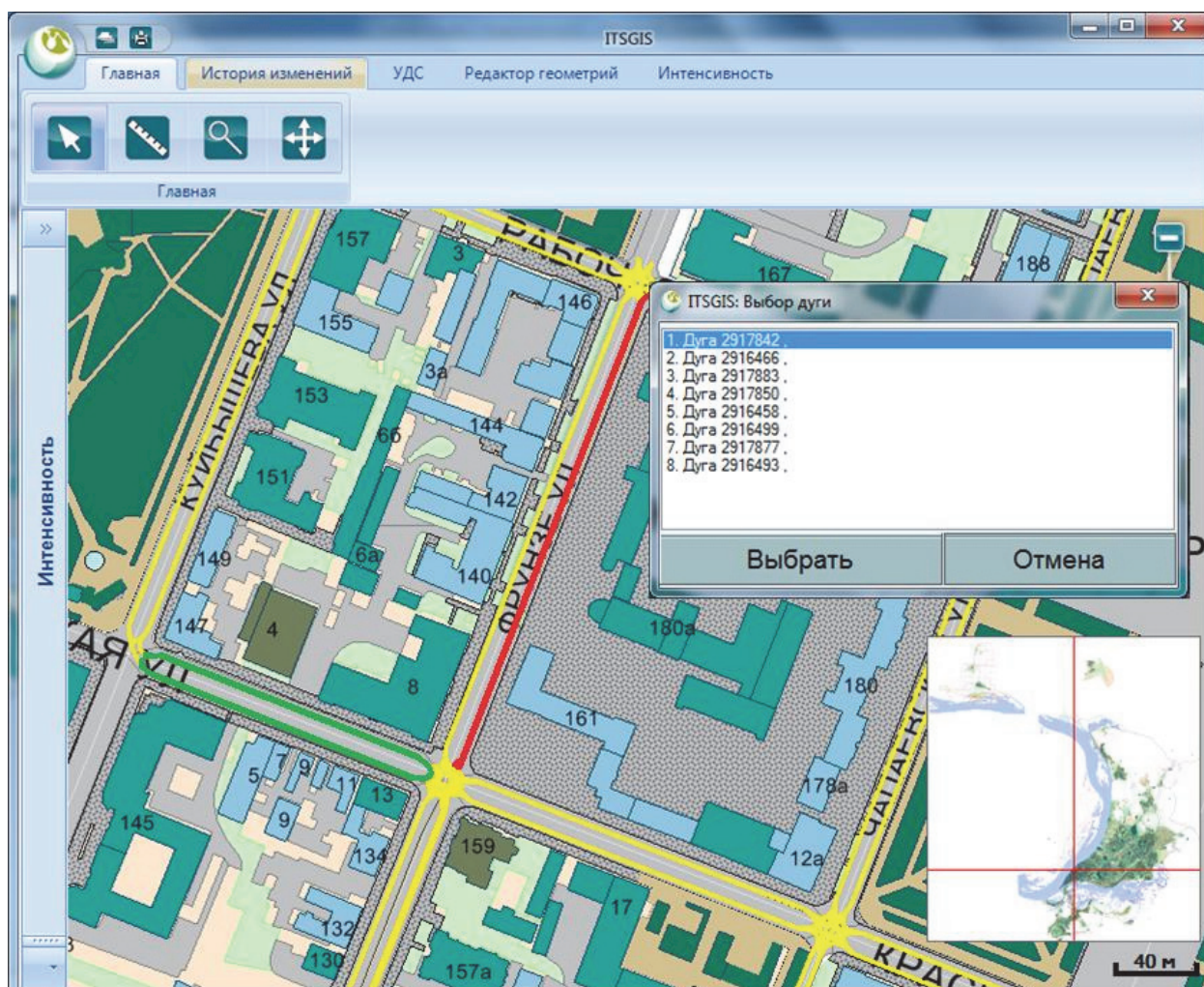


Рис. 3. Привязка объекта “Интенсивность” к дуге графа УДС города

Распределение часовых матриц корреспонденций по УДС города осуществлено путем построения равновесных потоков. Состояние равновесия на УДС характеризуется тем, что каждое транспортное средство движется по пути, обеспечивающему минимальные затраты времени на передвижение, обусловленные интенсивностью движения. При таком подходе каждая корреспонденция реализуется по пучку альтернативных путей, но количество путей в каждом пучке может меняться от одного (случай низкой загрузки или отсутствия альтернативных маршрутов) до нескольких десятков (случай высокой загрузки).

Для использования принципа равновесия определена зависимость скорости движения по участкам УДС от интенсивности транспортного потока. Для перегона улично-дорожной сети эта зависимость определяется соотношением, следующим из основной транспортной диаграммы, связывающей пропускную способность участка со скоростью движения транспортного потока.

$$v(I) = \exp \left\{ \frac{v_l \cdot v_d}{2} * \left(1 + \frac{1}{S * \sqrt{(S^2 - S * I)}} \right) \right\},$$

где $v(I)$ – скорость движения по перегону, км/ч;
 v_l – ограничивающая скорость, определяемая дорожными знаками (60 км/ч для городских условий);

v_d – расчетная скорость, км/ч;

I – интенсивность движения, приведенных ед./ч;

S – интенсивность разгрузки очереди на регулируемом направлении, приведенных ед./ч, определяемая по формуле: $S = 1500x * n$, где n – число полос движения.

На заключительном этапе расчета определена среднегодовая суточная интенсивность движения по участкам УДС города. Для перехода к среднегодовым суточным интенсивностям движения использованы часовые распределения транспортных потоков, построенные для различных часов суток и дней недели.

Данные по интенсивности транспортных потоков отображаются на электронной карте в ITSGIS (рис. 3).

Получаемые в системе данные используются при планировании и организации работ по ремонту и содержанию автомобильных дорог, для

разработки мероприятий по инженерному обустройству дорог и безопасности движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б.* Организация дорожного движения: учебник для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М: Транспорт, 2001. 247 с.
2. Михайлов Д.А., Михеева Т.И.. Визуализация интенсивности движения транспортных потоков в геоинформационной системе ITSGIS // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов IX Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск: ТПУ, 2011. С. 230-231.
3. Корпоративная информационная система прогнозирования интенсивности транспортных потоков с использованием нейронных сетей / *Т.И. Михеева, Д.А. Михайлов, А.А. Осьмушин* // Организация и безопасность дорожного движения: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. С. 116-121.
4. *Михеева Т.И., Михайлов Д.А.* Применение данных об интенсивности транспортных потоков при организации дорожного движения // Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса: материалы II Международной научно-практической конференции. Кемерово: Кузбассвузиздат, 2012. С. 179-183.
5. *Михеева Т.И.* Структурно-параметрический синтез интеллектуальных транспортных систем. Самара: Самар. науч. центр РАН, 2008. 380 с.

RESEARCH OF TRANSPORT FLOWS INTENSITY IN INTELLECTUAL GIS "ITSGIS"

© 2014 S.V. Mikheev, D.A. Mikhailov, I.G. Bogdanova

Samara State Aerospace University named after Academician S. P. Korolyov
(National Research University)

Questions of establishment existing and prediction of perspective intensity of transport flows on the basis of methods of the neuronetwork analysis are considered. The intensity database scheme is designed, the drawing algorithm of data in the environment of an intellectual geoinformation system is developed.

Keywords: transport flows intensity, neuronetwork analysis, geoinformation system.

Sergey Mikheev, Candidate of Technical Science, Associate Professor at the Transport Organization Department.

E-mail: mikheevati@its-spc.ru

Dmitriy Mikhailov, Postgraduate Student.

E-mail: mikheevati@its-spc.ru

Irina Bogdanova, Postgraduate student.

E-mail: mikheevati@its-spc.ru