

УДК 656.13

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОСНОВНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ СИТУАЦИЮ НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

¹Зенченко В.А., ¹Ременцов А.Н., ²Павлов А.В., ¹Сотсков А.В.¹МАДИ, Москва, e-mail: andrey.pavlov@rosalab.ru;²ЗАО «РОСА», Москва

Представлены общие положения по оценке параметров окружающей среды и основных транспортных потоков в их взаимосвязи, определяющих сложность ситуации на дорогах и оказывающих влияние на характеристики дорожного движения автотранспортных средств. На основе анализа характеристик транспортных потоков обоснована необходимость комплексного учета скорости движения автотранспортных средств (АТС), плотности транспортного потока, его интенсивности и их взаимосвязей. Отмечена необходимость использования интегрального показателя, характеризующего реальные ситуации на улично-дорожной сети (УДС) с использованием множества факторов, отражающих климатические условия, эффект загрузки движения, протяженности маршрута и временные характеристики движения АТС на дорожных участках.

Ключевые слова: транспортный поток, интенсивность потока, плотность потока, улично-дорожная сеть, скорость движения, пропускная способность, загруженность движения, маршрут, участок маршрута

ASSESSMENT OF PARAMETERS OF ENVIRONMENT AND THE MAIN TRANSPORT STREAMS DEFINING A SITUATION ON A STREET ROAD NETWORK

¹Zenchenko V.A., ¹Rementsov A.N., ²Pavlov A.V., ¹Sotskov A.V.¹MADI, Moscow, e-mail: andrey.pavlov@rosalab.ru;²ROSA Laboratory, Moscow

General provisions are presented according to parameters of environment and the main transport streams in their interrelation, defining complexity of a situation on roads and influencing characteristics of traffic of vehicles. On the basis of the analysis of characteristics of transport streams of the speed of movement of vehicles, firmness of a transport stream and intensity, their interrelations is proved. Need of use of the integrated indicator characterizing real situations on a street road network with use of a set of factors reflecting climatic conditions, effect of loading of transport stream, length of a route and temporary characteristics of movement on road sites is proved.

Keywords: transport stream, intensity of a stream, firmness of a stream, street road network, speed of movement, capacity, load of movement, route, route site

В условиях динамичного роста автомобильного парка России (достигшего к настоящему моменту времени более 41 млн ед.) и высокой интенсивности его использования с вовлечением миллионов людей возникает необходимость в повышении уровня качества транспортных услуг, проведении эффективных мероприятий по предупреждению и снижению аварийности, повышению безопасности движения, что является одной из важнейших социально-экономических проблем современного общества. От ее успешного решения в значительной степени зависит эффективность использования инфраструктуры транспортной сети, оказывающей непосредственное влияние на удобство использования АТС, жизнь и здоровье людей, а также на развитие экономики регионов [1, 2].

Из проведенного анализа транспортных потоков, с точки зрения их загруженности, интенсивности, скоростей перемещения АТС, времени их движения и др., на основе предварительно полученных экспериментальных данных установлено, что в реальной действительности, как правило, существует

три фазы потоков, а именно свободный (F) и синхронизованный (S) потоки, и широко движущийся кластер машин (J) [3].

Анализ взаимосвязей основных характеристик транспортных потоков базировался на их исследовании, с использованием стохастических и аналитических моделей в режиме однофакторного и многофакторного анализов и оценки влияния рассматриваемых параметров на результирующие признаки.

Согласно ранее проведенным исследованиям, классическим определениям и статистическим подтверждениям, отраженным в ряде исследований транспортных потоков, выполненных Дрю Д., Кернером Б.С., Кленовым С.Л., Богумилом В.Н., Ефименко Д.Б. и др. [4, 5, 6], большинство зависимостей результирующих признаков от различных факторов описываются в экспоненциальном или полиномиальном виде. Так, при анализе влияния конкретных параметров на результирующий показатель (признак), в случае рассмотрения однофакторных моделей, например плотности транспортного потока (ρ) на скорость дви-

жения АТС (V_a) может использоваться зависимость вида:

$$v = v_0 e^{-cp}, \quad (1)$$

где v_0 – средняя скорость движения легковых АТС в транспортном потоке в свободных условиях (значение точки привязки скорости к оси ординат); ρ – плотность движения транспортного потока, автомобилей на километр дороги; c – коэффициент, характеризующий интенсивность изменения скорости движения АТС (коэффициент уравнения регрессии).

Аналогичным образом может быть выражено изменение плотности транспортного потока (ρ) от средней скорости движения АТС (v_a), т.е.

$$\rho = \rho_0 e^{-bv}, \quad (2)$$

где ρ_0 – максимальная плотность движения транспортного потока (значение точки привязки плотности к оси ординат); b – коэффициент, характеризующий интенсивность изменения плотности транспортного потока (коэффициент уравнения регрессии).

В то же время согласно классическим положениям поведения транспортных по-

токов, интенсивность таких потоков (q), имеющая размерность (авт./ч), выражается в виде:

$$q = V\rho. \quad (3)$$

Поскольку плотность и скорость взаимосвязаны (см. выражения 1 и 2), то при заданных значениях скорости или плотности потоков, интенсивность транспортных потоков может быть выражена в виде уравнения (4), при постоянной плотности или уравнения (5), при постоянной скорости движения АТС, т.е.

$$q = a_0 + a_1 V + \dots + a_n V^n; \quad (4)$$

$$q = a_0 + a_1 \rho + \dots + a_n \rho^n. \quad (5)$$

В процессе проведения эксперимента с целью определения взаимосвязей ρ , q и V была получена необходимая информация (на основе использования сервиса «Яндекс Пробки» поисковой системы «Яндекс» [7]), на примере участка Волоколамского шоссе с установленными камерами для наблюдения за движением транспортного потока (рис. 1).



Рис. 1. Пример рассматриваемого участка Волоколамского шоссе с расположением камер для наблюдения за дорожным потоком

лотность транспортного потока измерялась количеством движущихся АТС на участке и в дальнейшем приводилась к нормированной длине участка, равной одному километру. Интенсивность транспортного потока в тестовом режиме измерялась за заданные периоды наблюдения и, в даль-

нейшем, приводилась к нормированному времени наблюдения, равному одному часу. Тестовые экспериментальные данные приведены в таблице.

Для описания зависимости средней скорости движения АТС (V_a) от плотности транспортного потока (ρ) использовалось

выражение (1). Графическое представление влияния плотности транспортного потока на среднюю скорость движения АТС отражено на рис. 2, а аналитическое выражение имеет вид:

$$V_a = 80,522e^{-0,007\rho} \quad (6)$$

Одновременно была получена обратная связь, согласно выражению (2), в графическом виде отраженная на рис. 3 и в виде аналитического выражения (7).

$$\rho = 281,46e^{-0,024V_a} \quad (7)$$

Экспериментальные данные по характеристикам транспортного потока

Средняя скорость движения, км/ч (V_a)	Плотность транспортного потока, а/м на км (ρ)	Интенсивность транспортного потока, а/м в час (q)
20	120	2400
20	200	4000
20	200	4000
25	172	4358
55	75	4154
45	95	4275
45	92	4162

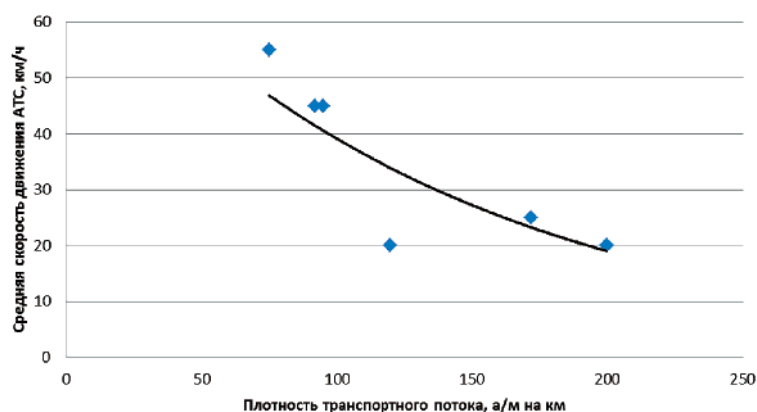


Рис. 2. Графическая зависимость средней скорости движения АТС (V_a) от плотности транспортного потока (ρ)

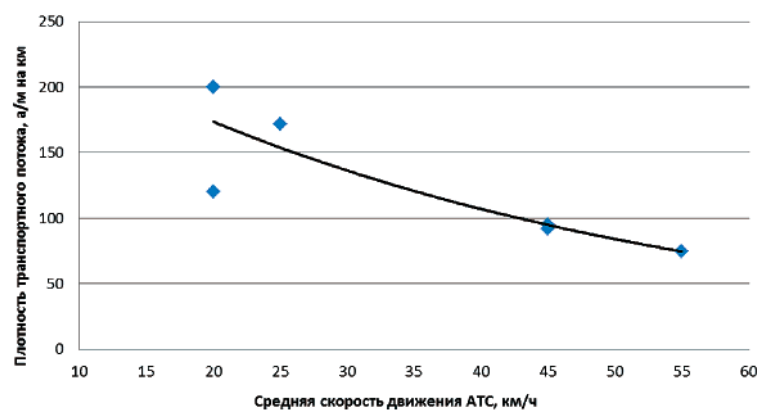


Рис. 3. Графическая зависимость плотности транспортного потока (ρ) от средней скорости движения АТС (V_a)

Параллельно была проведена тестовая оценка изменения интенсивности транспортного потока (q) от средней скорости движения АТС (V_a), которая отображена на рис. 4, с использованием выражения (4).

Данная зависимость показывает нелинейность и нестабильность поведения интенсивности транспортного потока от средней скорости движения АТС (см. выражение (8), рис. 4).

$$q = 0,2122V_a^3 - 26,508V_a^2 + 1047,5V_a - 8578,1. \quad (8)$$

При малых значениях V_a и q речь может идти о высокой загруженности УДС и возможности образования заторов. С увеличе-

нием скорости движения происходит рост q до определенного значения $q_{\max}$ и далее, с ростом скорости, могут происходить ее

падение и дальнейшая стабилизация, что говорит о синхронности транспортного потока.

Между тем необходимо иметь в виду, что существуют определенные сложности при выявлении интенсивности транспортного потока, поскольку одному и тому же значению интенсивности могут соответствовать

различные скорости движения АТС. Так, например, при значении интенсивности, равном 4100 авт./ч, скорость движения может быть как 22 км/ч, так и 46 км/ч. Поэтому связь скорости с интенсивностью не всегда может однозначно трактовать сложившиеся ситуации в режиме оценки транспортных потоков и тем самым оценивать их сложность.

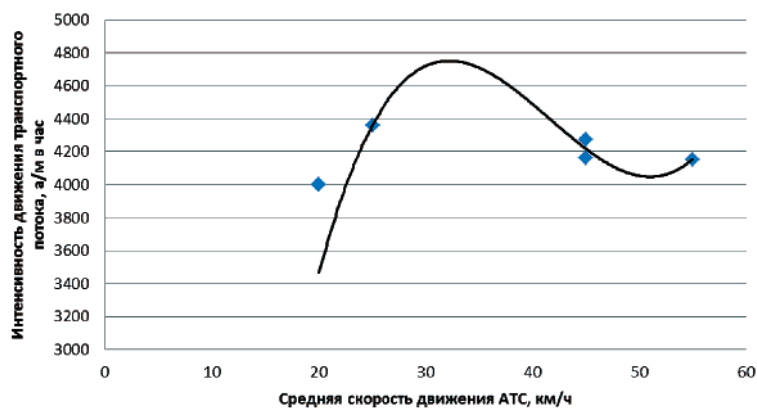


Рис. 4. Графическая зависимость интенсивности транспортного потока (q) от средней скорости движения АТС (V_a)

Подобным образом была получена, согласно выражению (5), зависимость интенсивности транспортного потока (q) от его плотности (ρ), и представлена на рис. 5. Аналитическое уравнение связи (q) и (ρ) имеет вид:

$$q = -0,0043\rho^3 + 2,0062\rho^2 - 295\rho + 17239. \quad (9)$$

При этом, как и для предыдущих зависимостей связи q с V_a , имеет место неоднозначность поведения q от ρ , т.е. одному и тому же значению интенсивности может соответствовать различная характеристика

плотности. Так, например, одному значению $q = 4000$ авт./ч могут соответствовать плотности $\rho = 75$ авт./км и $\rho = 175$ авт./км. Подобная неоднозначность объясняется тем, что одному значению интенсивности потока может соответствовать, как большая его плотность при малой скорости, так и наоборот малая плотность при большой скорости. Например, интенсивности транспортного потока, равной 4000 авт./ч, могут соответствовать две ситуации, в которых при скорости, равной 55 км/ч, плотность потока составляет 75 авт./км и одновременно при скорости 20 км/ч — 175 авт./км.

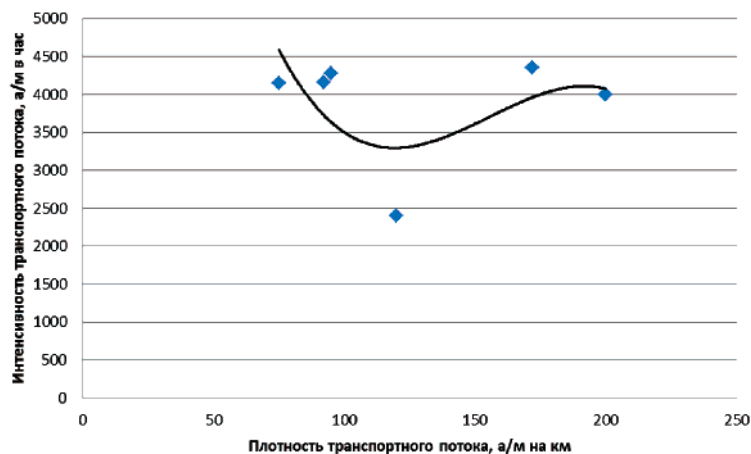


Рис. 5. Графическая зависимость интенсивности транспортного потока (q) от плотности транспортного потока (ρ)

Проведенная оценка предварительных данных эксперимента позволила подойти к моделированию поведения рассматриваемых параметров с учетом их взаимосвязи.

Поскольку движение со скоростью ниже 10 км/ч, можно рассматривать как стесненное движение (т.е. затор), а максимальная разрешенная скорость на автомагистралях в Российской Федерации согласно «Правилам дорожного движения» составляет 110 км/ч, в качестве задаваемых скоростей был выбран диапазон от 10 до 110 км/ч с шагом 5 км/ч.

С использованием выражения оценки изменения плотности транспортного потока

от скорости движения АТС (2) и коэффициентов уравнения регрессии ρ_0 и b (см. выражение 7) получена соответствующая экспериментальная зависимость, представленная на рис. 6 и в виде уравнения (10).

$$\rho = 281,46e^{-0,024V_a}. \quad (10)$$

Одновременно были смоделированы и обратные взаимосвязи, отраженные на рис. 7 и в виде выражения (11), которые подтверждают тестовые статистические характеристики связей $V_a = f(\rho)$ и $\rho = f(V_a)$.

$$V_a = 129,31e^{-0,011\rho}. \quad (11)$$

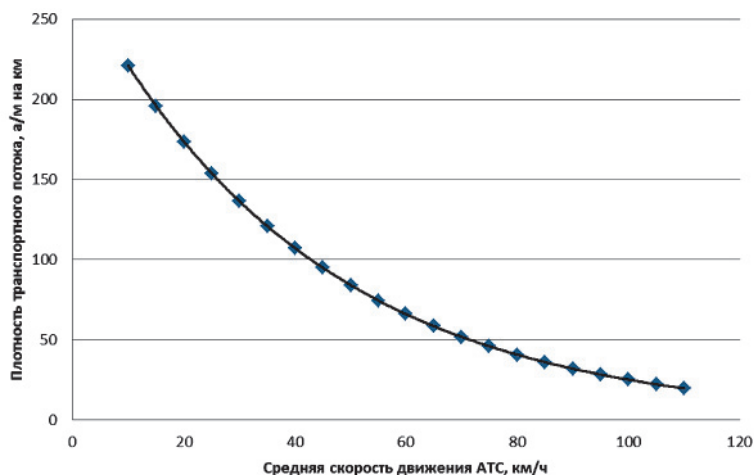


Рис. 6. Графическая зависимость плотности транспортного потока (ρ) от средней скорости движения АТС (V_a)

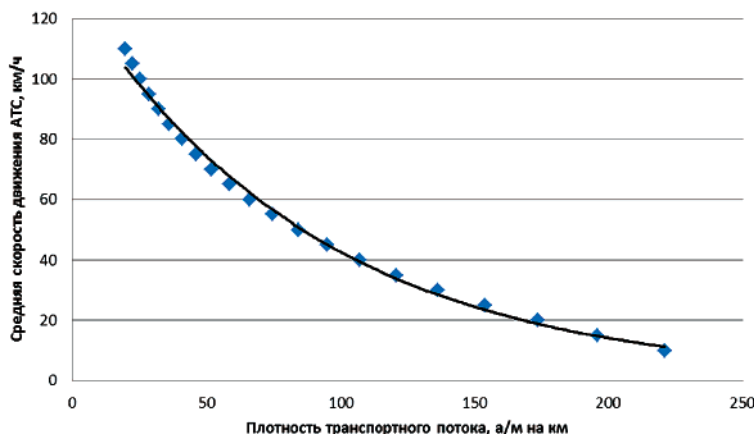


Рис. 7. Графическая зависимость средней скорости движения АТС (V_a) от плотности транспортного потока (ρ)

Между тем изменение параметра плотности в зависимости от скорости может быть выражено, и в другом виде, например:

$$\rho = (a_0 + a_1 V + \dots + a_n) V^{-1}. \quad (12)$$

Причем характер изменения $\rho = f(V_a)$, будет иметь такой же вид, как и на

рис. 6. При этом будет соблюдаться тождество:

$$\rho e^{-bv} = (a_0 + a_1 V + \dots + a_n) V^{-1}. \quad (13)$$

Полученные результаты моделирования позволили оценить влияние скорости движения на интенсивность потока, которое

описывается в виде выражения (4) и отображено в графическом виде на рис. 8. Аналитическое представление связи q и V_a имеет вид:

$$q = 0,0122V_a^3 - 2,8651V_a^2 + 182,38V_a + 796,42. \quad (14)$$

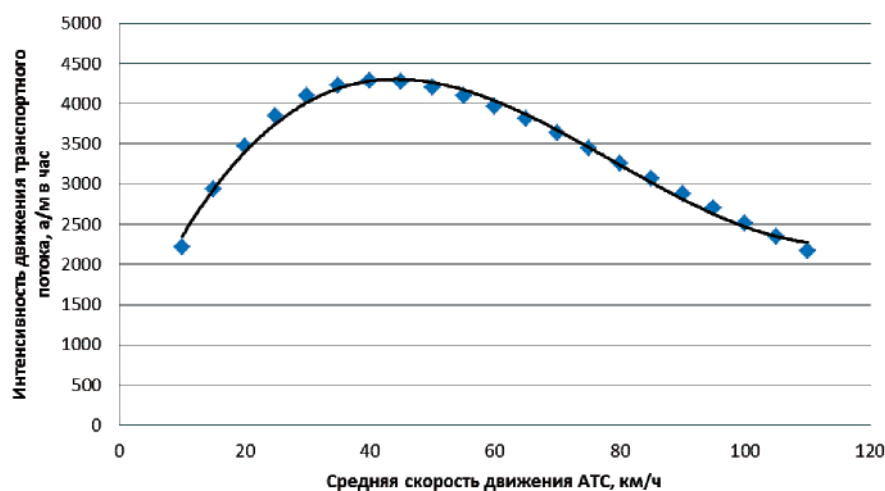


Рис. 8. Графическая зависимость интенсивности транспортного потока (q) от средней скорости движения АТС (V_a)

Моделирование влияния плотности транспортного потока на его интенсивность с использованием выражения (5) отражено соответствующими аналитическими и графическими зависимостями, представленными в виде уравнения (15) и на рис. 9.

$$q = -0,2104\rho^2 + 48,546\rho + 1533. \quad (15)$$

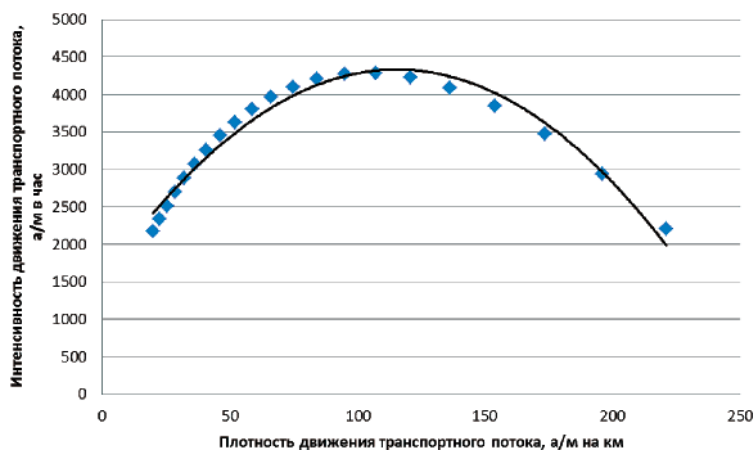


Рис. 9. Графическая зависимость интенсивности транспортного потока (q) от плотности транспортного потока (ρ)

Анализируя иллюстрацию рис. 10, следует отметить, что, как и для зависимости $q = f(\rho)$, определенному значению интенсивности транспортного потока могут соответствовать два значения его плотности, что говорит о неполной адекватности математического описания данного явления. Эта особенность констатирует тот

При этом характер перехода из состояния свободного потока в плотный условно подтверждает теорию Кернера для данного примера.

Между тем обратная зависимость плотности от интенсивности представлена на рис. 10, но при этом не может быть явно отражена в аналитическом виде.

факт, что в определенных условиях оценка сложностей маршрутов, согласно вышеизложенным подходам и теориям, не во всех случаях корректна и не может отражать реальную действительность. Такая ситуация требует дальнейшего совершенствования методов оценки напряженности движения АТС.

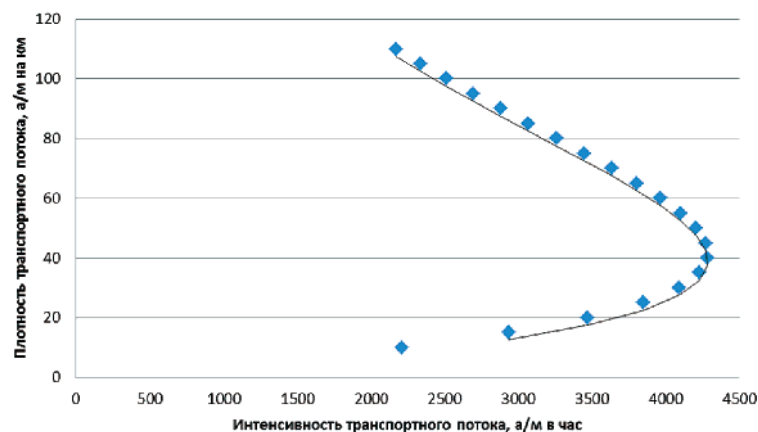


Рис. 10. Графическая зависимость плотности транспортного потока (ρ) от интенсивности транспортного потока (q)

Анализ совместного влияния скорости и плотности на интенсивность транспортного потока показывает, что оно может быть описано в виде полинома (16) и отражено в графическом виде (рис. 11). Аналитически это может быть представлено в виде выражения (17).

$$q = a + bV + cp + dV^2 + kV\rho + m\rho^2, (16)$$

где a , b , c , d , k и m – коэффициенты уравнения, определяемые путем статистической обработки экспериментальных данных, с использованием известных положений математической статистики.

$$q = 2,405 \cdot 10^{-6} - 2,597 \cdot 10^{-8}V - 5,484 \cdot 10^{-8}\rho + 7,942 \cdot 10^{-8}V^2 + V\rho - 1,103 \cdot 10^{-11}\rho^2, (17)$$

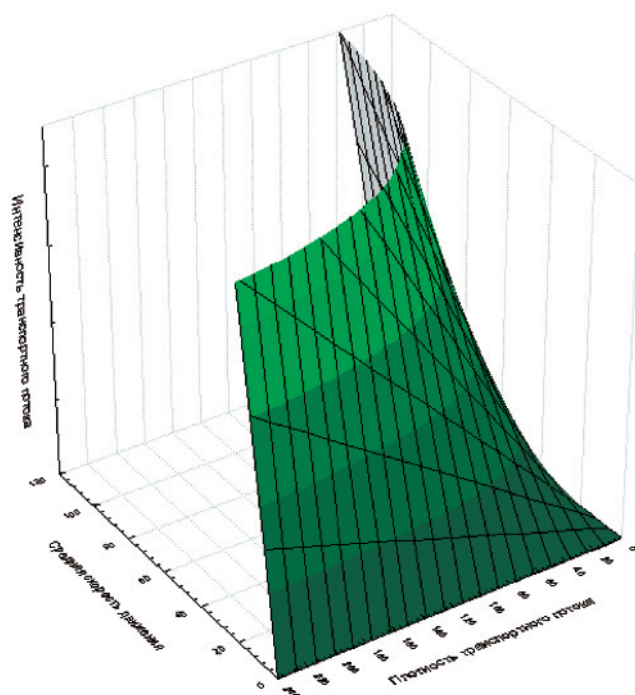


Рис. 11. Графическое отображение влияния плотности (ρ) и средней скорости движения АТС на интенсивность транспортного потока (q)

Предварительно проведенные исследования показали, что при анализе и прогнозировании сложности дорожной обстановки использование только лишь параметров ρ , V , q недостаточно, поскольку они не могут выступать в качестве интегральных ха-

рактеристик, определяющих реальные ситуации на УДС.

При этом сама интегральная оценка дорожной обстановки и текущего состояния положения АТС должна учитывать множество таких факторов, как скорость дви-

жения (V_a), загруженность УДС, протяженность участков, дни недели; климатические условия, время суток и время движения по участку маршрута, вероятности проявления событий на участках, характеризующие аварийность, места массового скопления АТС, места перекрытия участков дорожного движения и др., что является предметом дальнейших исследований в рамках рассматриваемой проблемы.

Комплекс предварительно проведенных исследований позволит целенаправленно подойти к разработке моделей анализа состояния объектов на улично-дорожной сети и корректирования маршрутов участников движения с использованием информации об их текущем положении и обеспечить прогнозирование изменения дорожной обстановки в реальном масштабе времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пугачев И.Н. Организация и безопасность движения: учеб. пособие. – Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2004. – 232 с.
2. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.
3. Kerner B.S. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: The Long Road to Three-Phase Traffic Theory, Springer, Berlin. – New York, 2009. – 265 p.
4. Теория транспортных потоков и управления ими / Д. Дрю. – М.: Изд-во «Транспорт», 1972. – 424 с.
5. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / А.В. Гасников, С.Л. Кленов, Е.А. Нурминский, Я.А. Холодов, Н.Б. Шамрай; Приложения: Бланк М.Л., Гасникова Е.В., Замятин А.А. и Малышев В.А., Колесников А.В., Райгородский А.М.; под ред. А.В. Гасникова. – М.: МФТИ, 2010. – 362 с.
6. Богумил В.Н. Оценка основных параметров транспортных потоков на основе использования навигационных данных транспортных средств городского пассажирского транспорта / В.Н. Богумил, Д.Б. Ефименко // Автотранспортное предприятие. – 2009. – №11 – С. 17–21.
7. www.yandex.ru.