

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ ГЛОНАСС/GPS ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЛАМИНАРНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

В. Н. Богумил, Д. Б. Ефименко

ЗАО «НПП Транснавигация»

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
г. Москва

Одними из важных направлений улучшения транспортной ситуации является разработка и внедрения систем управления транспортными потоками. На современном этапе, для повышения эффективности данных систем, а также повышения информированности участников транспортных процессов и всех заинтересованных потребителей информации о состоянии дорожного движения, актуальным является поиск *альтернативных и дополнительных* источников информации о состоянии транспортных потоков.

С появлением средств мобильной связи и спутниковой навигации стало развиваться направление косвенной оценки состояния транспортных потоков, использующее различные источники информации о ситуациях на дорогах, в первую очередь от участников транспортных процессов.

Кафедра транспортной телематики МАДИ, совместно с компанией «НПП Транснавигация» разработала методику расчета параметров транспортных потоков на участках улично-дорожной сети города на основе обработки навигационной информации, получаемой от бортового навигационно-связного оборудования, устанавливаемого на транспортных средствах городского пассажирского транспорта (ГПТ), работающего под контролем автоматизированной спутниковой навигационной системы диспетчерского управления пассажирскими перевозками. Эффективность подхода объясняется практически полным покрытием маршрутной сетью ГПТ магистральных улиц и дорог города, на которой осуществляют перевозки сотни пассажирских транспортных средств. При этом навигационные отметки поступают в диспетчерскую систему от каждого транспортного средства с высокой частотой (два – три раза в минуту) [1, 2]. Каждая отметка содержит: время формирования данных, мгновенную скорость, направление движения (азимут), географические широту и долготу.

Нами было получено теоретическое обоснование гипотезы о существовании ста-

тистической зависимости между средней скоростью потока на полосе участка дороги и средней скоростью транспортных средств городского пассажирского транспорта, выражаемой в виде линейной или степенной регрессионной модели с нулевым свободным членом. По результатам проведенных экспериментальных исследований были построены указанные регрессионные модели для отдельных полос магистральных дорог. В большинстве случаев получены значения коэффициента детерминации выше 0,9. Эти зависимости для четырех полосных и шести полосных дорог представлены в таблице 1.

Пример построенного графика уравнения регрессии «Скорость ГПТ - скорость участников транспортного потока по полосам движения» показан на рисунке 1.

Таблица 1 – Уравнения регрессии «Скорость транспортных средств ГПТ - скорость различных участников транспортного потока по полосам движения»

Группа транспортных средств	Уравнение регрессии
Четырехполосная дорога (две полосы в одну сторону)	
Медленные автомобили на правой полосе	$y = 1,059x^{0,959}$
Быстрые автомобили на правой полосе	$y = 0,755x^{1,131}$
Быстрые автомобили на левой полосе	$y = 0,745x^{1,14}$
Шестиполосная дорога (три полосы в одну сторону)	
Медленные автомобили на правой полосе	$y = 1,088x^{0,957}$
Быстрые автомобили на правой полосе	$y = 0,521x^{1,292}$
Быстрые автомобили на средней полосе	$y = 0,513x^{1,309}$
Быстрые автомобили на левой полосе	$y = 0,496x^{1,324}$

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ ГЛОНАСС/GPS ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЛАМИНАРНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

На основании анализа известных теоретических работ, в которых рассмотрены теоретические модели движения транспортного потока [4, 5, 6, 7] сформулирован термин «ламинарный транспортный поток», который мы относим к транспортному потоку, не встречающему искусственных препятствий своему движению. Такими искусственными препятствиями являются «узкие места», регулируемые перекрестки, участки, на которых произошло дорожно-транспортное происшествие и транспортные средства перегородили проезжую часть.

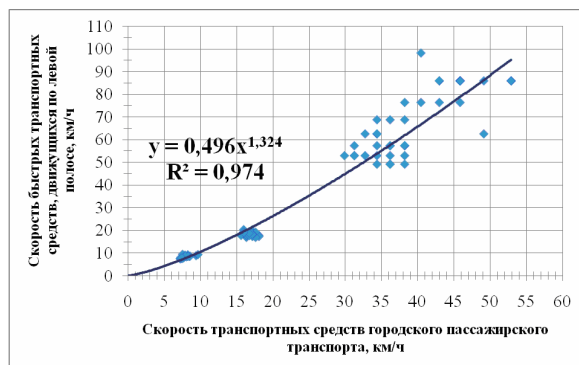


Рисунок 1 – Пример графика и уравнения регрессии для левой полосы шестиполосной дороги, построенного по экспериментальным данным

Важным является то, что для ламинарного транспортного потока справедливы фундаментальные зависимости между средними значениями его основных параметров «скорость-плотность», «интенсивность-плотность». С учетом известных теоретических моделей [5, 6] нами были построены аналитические зависимости для четырех различных фазовых состояний транспортного потока. Была проведена серия экспериментальных исследований, по результатам которых были найдены параметры фундаментальных зависимостей.

График зависимости «скорость-плотность», построенный для полосы магистральных дорог с различными значениями ограничениями скорости движения показан на рисунке 2. Универсальный характер построенной зависимости был доказан теоретически и подтвержден экспериментально. Универсальность зависимости проявляется в ее применимости для любой полосы горизонтального прямолинейного участка любой магистральной дороги, на которой движется «ламинарный транспортный поток».

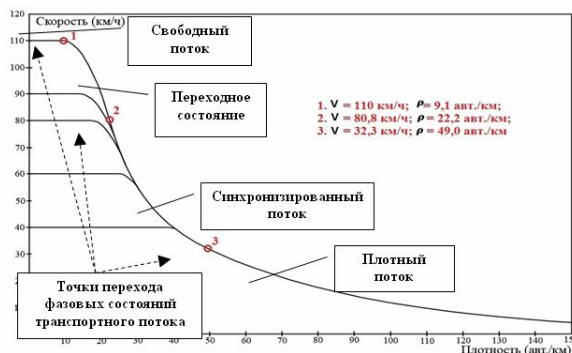


Рисунок 2 – График зависимости средних значений «скорость – плотность» ламинарного транспортного потока на отдельной полосе горизонтального прямолинейного участка магистральной дороги

На основании изложенного был разработан пошаговый алгоритм расчета параметров ламинарного транспортного потока на полосе участка дороги. В общем виде указанный пошаговый алгоритм представляется следующей последовательностью преобразований:

1. Преобразование F_1 :

$$V_{гпт} = F_1 \{V_{гпт}\} \quad (1)$$

где $\{V_{гпт}\}$ – множество данных о мгновенных скоростях движения, содержащихся в навигационных отметках, полученных от контролируемых пассажирских транспортных средств при прохождении участка в отчетный период; $V_{гпт}$ – оценка средней скорости пассажирских транспортных средств на участке за отчетный период.

При этом оценка средней скорости каждого транспортного средства ГПТ на участке получается на основе анализа информации, содержащейся в полученных от него при прохождении участка навигационных отметках.

2. Преобразование F_2 :

$$V_i = F_2(V_{гпт}), i = 1, 2, \dots \quad (2)$$

где V_i – оценка средней скорости транспортного потока на i -й полосе за отчетный период; $V_{гпт}$ – оценка средней скорости пассажирских транспортных средств за отчетный период. Оценка получается на основе использования регрессионных моделей, отражающих статистическую зависимость между средней скоростью пассажирских транспортных средств и средней скоростью транспортного потока на отдельных полосах участка дороги.

3. Преобразование F_3 :

$$\rho_i = F_3(V_i), i = 1, 2, \dots \quad (3)$$

где ρ_i – оценка средней плотности транспорт-

ного потока на i -й полосе за отчетный период, приведенная к плотности однородного потока легковых автомобилей; V_i – оценка средней скорости транспортного потока на i -й полосе за отчетный период, полученная на предыдущем шаге. Оценка средней плотности потока на каждой полосе получается на основе использования зависимости средних значений «скорость-плотность» для данного участка.

4. Преобразование F_4 :

$$q_i = F_4(p_i), \quad i = 1, 2, \dots \quad (4)$$

где q_i – оценка средней интенсивности транспортного потока на i -й полосе за отчетный период, p_i – оценка средней приведенной плотности транспортного потока на i -й полосе за отчетный период, полученная на предыдущем шаге.

Оценка средней интенсивности потока на каждой полосе получается на основе использования фундаментальной диаграммы, – зависимости средней интенсивности и средней приведенной плотности потока.

Графическая иллюстрация использования моделей «скорость-плотность», «интенсивность-плотность» в процессе пошагового нахождения плотности и интенсивности потока на i -й полосе через рассчитанную среднюю скорость ПС ГПТ, представлена на рисунке 3.

В ходе экспериментов была показана высокая точность оценки параметров «средняя скорость потока», «средняя интенсивность потока». Относительная погрешность оценок этих параметров, получаемых указанным методом, колеблется в пределах 8-12% в зависимости от фазового состояния потока.

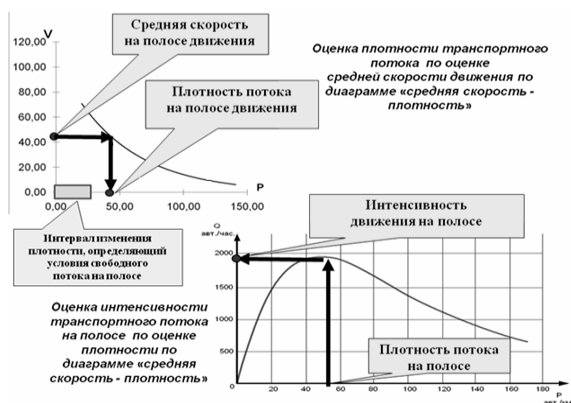


Рисунок 3 – Графическая иллюстрация использования моделей «скорость-плотность», «интенсивность-плотность» в процессе пошагового нахождения плотности и интенсивности потока на полосе магистральной дороги

В заключение необходимо отметить, что организация мониторинга параметров транспортных потоков позволяет на качественно новом уровне решать ряд транспортных задач, краткий анализ которых приведен ниже.

1. Выбор наилучшего пути развития (реконструкции) дорожной сети региона на основе строгой количественной оценки последствий реализации проектов.

Следует отметить, что все хронически возникающие узкие места на дорожной сети, как правило, хорошо известны администрации города. Но только знание количественных характеристик этих узких мест (объемы движения, скорости, задержки) обеспечивает наиболее эффективную последовательность мероприятий по ликвидации этих мест, что крайне важно при дефиците ресурсов и времени.

2. Более точное планирование транспортной работы автомобильного грузового и городского пассажирского транспорта.

Очевидно, что правильное планирование работы автомобильного транспорта повышает его эффективность, снижает экологическую нагрузку на окружающую среду.

3. Информирование участников движения о степени загруженности дорожной сети.

Эффективность системы информирования зависит от наличия на сети альтернативных путей объезда узких мест. Доступная и грамотно представленная информация (например, с указанием затрат времени движения через узкое место) в ряде случаев даст возможность участникам движения либо изменить планируемый маршрут, либо изменить время поездки, либо изменить пункт назначения. При этом не только экономится время этих участников движения, но и снижается транспортная нагрузка (задержки) в соответствующем узком месте дорожной сети.

4. Управление транспортными потоками средствами организации движения с целью предотвращения заторов на дорожной сети.

Решение данной задачи предполагает наличие в регионе централизованной системы управления светофорной сигнализацией на перекрестках, дорожными знаками, указателями и информационными табло. При прогнозировании возможности появления заторов система управления движением включает заранее рассчитанный план предотвращения опасной ситуации, который включает в себя не только вывод на табло рекомендаций водителям о наилучших путях следования, но и принудительное ограничение с помощью соответствующих светофоров интенсивности

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ ГЛОНАСС/GPS ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ЛАМИНАРНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

движения на направлениях, «питающих» узкое место сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов В.М., Ожерельев М.Ю., Ефименко Д.Б. Классификация теоретических подходов к сбору и обработке информации, поступающей в транспортно-телематическую систему диспетчерского управления пассажирскими перевозками. В кн.: Научные аспекты развития транспортно-телематических систем (сборник научных трудов) – М.: МАДИ, 2010 – 412 с.
2. В.М. Власов, В.Н. Богумил, Д.Б. Ефименко Современный облик автоматизированных систем диспетчерского управления городским пассажирским транспортом // Автотранспортное предприятие. – 2010. – №1 – С. 3-10.
3. В.Н. Богумил, Д.Б. Ефименко Мониторинг параметров ламинарных транспортных потоков с помощью ГЛОНАСС/GPS // Наука и техника в дорожной отрасли. - 2011. №3 – С.18-22.
4. Лобанов Е. М., Сильянов В. В., Ситников Ю. М. Пропускная способность автомобильных дорог. М., «Транспорт», 1970. 152 с.
5. Сильянов В.В. М., «Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения». «Транспорт», 1977, 303 стр.
6. Хейт О. Математическая теория транспортных потоков. М., «Мир», 1966. 286 с.
7. Чванов В.В. Методы оценки и повышения безопасности дорожного движения с учетом условий работы водителя. М.: Инфра-М, 2010, 415 с.