

УДК 681.322

UDC 681.322

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ
ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ (ОБЗОР)****IMPROVEMENT OF TRAFFIC MANAGEMENT
(REVIEW)**Параскевов А.В.
ассистентParaskevov A.V.
lecturerКубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

В статье рассматривается метод борьбы с заторами на дорогах с помощью введения платы за проезд. Приводятся опыт других стран в решении проблемы, а также уравнения и неравенства для выбора и оптимизации модели равновесия транспортного потока на сети городских дорог. Рассмотрены необходимые условия применения метода.

Method of fight with traffic jams with the help of passenger fare introduction is considered in the article. Experience of other countries in the decision of this problem and equations of inequality for choice and optimization of equality model of transport flow on the city roads are cited in it as well. Necessary conditions of the application of this method were considered.

Ключевые слова: ТРАНСПОРТНЫЙ ПОТОК, ДОРОЖНОЕ ДВИЖЕНИЕ, ТАРИФ, ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ, ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ, ПЛАТА ЗА ПРОЕЗД.

Key words. TRANSPORT FLOW, TRAFFIC, TARIFF, CARRYING CAPACITY, TRANSPORT NETWORK, PASSENGER FARE.

В 1950-х годах в Соединенных Штатах Америки заговорили о принципиальной возможности возникновения заторов на дорогах. Это должно было произойти, когда на 1000 человек будет приходиться порядка 15 автомобилей. В 1955 г. в США этот показатель никак не превышал 5–7 автомобилей на 1000 человек. На данный момент в г. Москве на 1000 жителей приходится 400 автомобилей, г. Санкт-Петербурге – 300, а по всей Российской Федерации в городах-«миллионщиках» этот показатель находится на уровне 200.

Города застраивались, как правило, стихийно, не системно. Во время строительства дорог не производили расчет с учетом количества автотранспорта на сегодняшний день. В настоящее время заторы на дорогах – проблема больших городов, в которых применяются следующие способы борьбы с пробками:

1. Работа светофоров в режиме «Зеленой» волны, когда при средней скорости движения автомобиля по городу – 30–40 км/ч, он на светофорах останавливаться не будет. Такой автомобиль будет постоянно попадать на зеленый сигнал. Даже если первый раз машина остановится на красный сигнал, то, доехав до следующего светофора, попадет уже на разрешающий сигнал. Данная модель безостановочного движения позволяет лишь частично разгрузить транспортный поток на улицах больших городов.

2. Проезд транзитных большегрузных автомобилей не через город, а в объезд, они не должны въезжать в город. Они из-за своих больших габаритов создают заторы и аварийные ситуации. Зачастую, для того чтобы совершить маневр, им приходится выезжать на полосу встречного движения, что создает опасность для встречного потока. Если на полосе встречного движения образовался затор, то маневр и вовсе становится нереальным. Позади большегрузного автомобиля скапливается транспорт, и возникает пробка. Значит, все базы для выгрузки должны находиться за городской чертой. Средние и тяжелые грузовики разгружаются там, а малый коммерческий транспорт осуществляет доставку в пределах городской черты.

3. Строительство воздушных развязок и тоннелей, дублирующих основные городские дороги. Городские дороги в настоящее время не рассчитаны на существующее количество автотранспорта. Таким образом, необходимо строить дублирующие воздушные мосты и подземные тоннели, которые, несомненно, увеличат пропускную способность сети городских дорог.

4. Во всех без исключения южных городах существует проблема видимости сигналов светофора и дорожных знаков. Это происходит из-за деревьев и кустарников, которые в весенне-летне-осенний период закрывают видимость дорожных знаков и светофоров. Необходимо, чтобы на расстоянии 5 метров до дорожного знака и светофора не было деревьев и

кустарников. Это улучшит обзорность водителям и, соответственно, увеличит скорость транспортного потока.

5. Муниципальные службы по уборке города должны работать ночью, поскольку, работая в утренние и вечерние часы, они создают пробки. Поэтому все работы по уборке города, ремонту освещения и т.п. должны проводиться ночью, когда транспортный поток минимален, и заканчиваться за 30 минут до утреннего часа пик (06.30).

6. Улучшение дорожного полотна на «промежуточных и дублирующих» улицах. Состояние дорожного покрытия на небольших улицах оставляет желать лучшего, асфальтовое покрытие, порой, полностью отсутствует, что делает распараллеливание потоков совершенно невозможным. Многие автолюбители желают объехать образовавшийся на основном направлении затор, но возможные поломки и резко возрастающая амортизация автомобиля делают их желание несбыточным.

7. Установление дополнительных сигналов светофора для поворота направо. Транспортный поток, который совершает правый поворот, создает минимальные помехи дорожному движению. Таким образом, автомобили, совершая правый поворот, смогут несколько разгрузить правую крайнюю полосу для движения в свою сторону.

8. Введение платы за проезд в центр города и спальные районы. Наличие при этом альтернативных бесплатных дорог параллельного направления дает возможность регулировать размер потока автотранспорта и направлять его на свободные «объездные» улицы.

Только комплексный подход сможет помочь в борьбе с заторами на городской дорожной сети с ограниченной пропускной способностью. Ни одна из существующих на данный момент мер не способна «в одиночку» справиться с проблемой. Рассмотрим более подробно пункт 8.

Задача состоит в следующем: найти модель оплаты дорожного проезда, которая будет в состоянии сдерживать спрос на поездки в заданных <http://ej.kubagro.ru/2008/03/pdf/14.pdf>

пределах в зависимости от допустимых экологических норм и физически возможной пропускной способности участка. Вышеупомянутый способ решения проблемы тесно связан с вопросом о поддержке, развитии и строительстве транспортной сети в большинстве крупных городов. Вообще, введение платы за проезд и управление спросом на поездки считаются ключевыми методами влияния на уровень вредного воздействия транспорта на окружающую среду. Поэтому ограничение числа поездок и введение платы за проезд имеют непосредственное влияние на загрязненность окружающей среды и управление перевозками.

Основная точка зрения заключается в следующем: когда потенциальный спрос на поездки будет достаточно высок для того, чтобы стать причиной заторов и образования очередей на участках транспортной сети, то задержки очередей на загруженных отрезках и, соответственно, расходы на поездку на отрезках О-П (отправление – прибытие) будут расти. В результате, произойдет снижение реализованного спроса на поездки до уровня пропускной способности транспортной сети. В итоге результативный спрос и затраты на поездку будут уравновешены, что приведет к устойчивому состоянию равновесия очередей на всей транспортной сети.

Поскольку простой в пробке – это, по сути, потеря времени, то было бы целесообразным найти альтернативные маршруты для того, чтобы распределить поток. Это можно достичь элементарным замещением задержки очередей эквивалентным размером платы за проезд. Однако в некоторых ситуациях, этого будет не достаточно для того, чтобы сдерживать величину транспортного потока в пределах пропускной способности.

Фирма Феррари в 1995 г. предложила метод расчета тарифов платы за проезд, которые смогут снизить спрос на поездки до допустимого уровня загрязнения окружающей среды, через изменение функции транспортных затрат на маршруте транспортной сети.

Модель введения платы за проезд в городских условиях включает в себя систему уравнений, решение которых позволяет найти оптимальную плату за проезд, учитывающую как физически допустимую пропускную способность улиц города, так и предельно допустимую экологическую «нагрузку» на окружающую среду.

Однако введение платы за проезд всей проблемы эффективного управления дорожным движением в условиях заторов не решает.

Уравнение «ограничение пропускной способности»:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{r \in R} f_r = d_w \quad (1) \\ \sum_{r \in R} f_r d_{ar} = n_a \quad (2) \\ n_a \leq C_a \quad (3) \\ f_r \geq 0 \quad (4) \end{array} \right. \quad (1)$$

предопределяет спрос на поездки на всех отрезках $O - \Pi$ и его распределение на сети с ограниченной пропускной способностью и распределением очередей на перегруженных транспортных дугах.

В системе уравнений (1):

Уравнение № 1 – ограничение спроса.

Уравнение № 2 – ограничение для сохранения потока транспортной сети.

Неравенство № 3 – ограничение пропускной способности.

Неравенство № 4 – условие неотрицательности транспортного потока

переменные:

w – отрезок,

a – дуга,

r – маршрут,

d_w – спрос на отрезке $O - \Pi$,

n_a – транспортный поток на дуге $a \in A$,

V – вектор всех потоков дуги

f_r – транспортный поток на маршруте r ,

λ_a – распределение очередей на перегруженных транспортных дугах,

$D_w^{-1}(d_w)$ – обратная величина функции спроса,

C_a – пропускная способность дуги a ,

A – множество дуг транспортной сети,

W – множество отрезков в транспортной сети,

R – множество маршрутов,

$d_{ar} = 1$, если маршрут r используется на отрезке a то, в остальных случаях $d_{ar} = 0$.

Уравнение «равновесие транспортной сети с изменением спроса, ограничением пропускной способности и распределением очередей на перегруженных транспортных дугах»:

$$\begin{cases} \sum_{a \in A} c_a d_{ar} + \sum_{a \in A} l_a d_{ar} = c_w \\ \sum_{a \in A} c_a d_{ar} + \sum_{a \in A} l_a d_{ar} \geq c_w \end{cases}, \text{ при } \begin{cases} f_r > 0 \\ f_r = 0 \end{cases}, \text{ где } r \in R \text{ и } w \in W. \quad (2)$$

О соотношении транспортного потока на дуге, распределения очередей на перегруженных транспортных дугах и пропускной способности дуги:

1. n – вектор всех потоков дуги a рассматривается как направленность потока на ту или иную дугу. При этом он тесно соотносится с пропускной способностью дуги.

2. λ_a (при $a \in A$) – распределение очередей на перегруженных транспортных дугах измеряется в отношении к 0. Это означает, что при:

2.1. $\lambda_a=0$ (распределение очередей нулевое) $n_a < c_a$, следовательно, можно сделать вывод о том, что дорога не занята (нет очереди, и предел пропускной способности $C_a = \max$, при котором они возникают, не достигнут).

2.2. $\lambda_a \geq 0$ (распределение очередей ≥ 0), то есть при $n_a = c_a$, значит, распределение очередей (величина λ_a) положительно при пропускной способности дуги, равной транспортному потоку на дуге. Проще говоря, количество автотранспорта на транспортной дуге равно или меньше пропускной способности.

2.3. $\lambda_a < 0$ – с учетом ограничения пропускной способности ($n_a \leq c_a$), значит, математически величина, отражающая распределение очередей, в данном случае будет отрицательна.

Пока ограничения линейны и поэтому выпуклые, целевая функция строго выпуклая (принимая во внимание переменные транспортного потока спроса на отрезках О–П), существование решения гарантировано, и равновесие спроса на отрезках О–П и величины транспортного потока будут определены единственным решением.

Обязательным и достаточным условием уникальности возникающего решения является линейная независимость всех ограничений пропускной способности на различных транспортных дугах.

$$\begin{cases} D_w^{-1}(d_w) \leq c_w, & \text{при } d_w = 0 \\ D_w^{-1}(d_w) = c_w, & \text{при } d_w > 0 \end{cases}, \text{ где } w \in W . \quad (3)$$

$$\begin{cases} I_a = 0 \\ I_a \geq 0 \end{cases}, \text{ при } \begin{cases} n_a < c_a \\ n_a = c_a \end{cases}, \text{ где } a \in A . \quad (4)$$

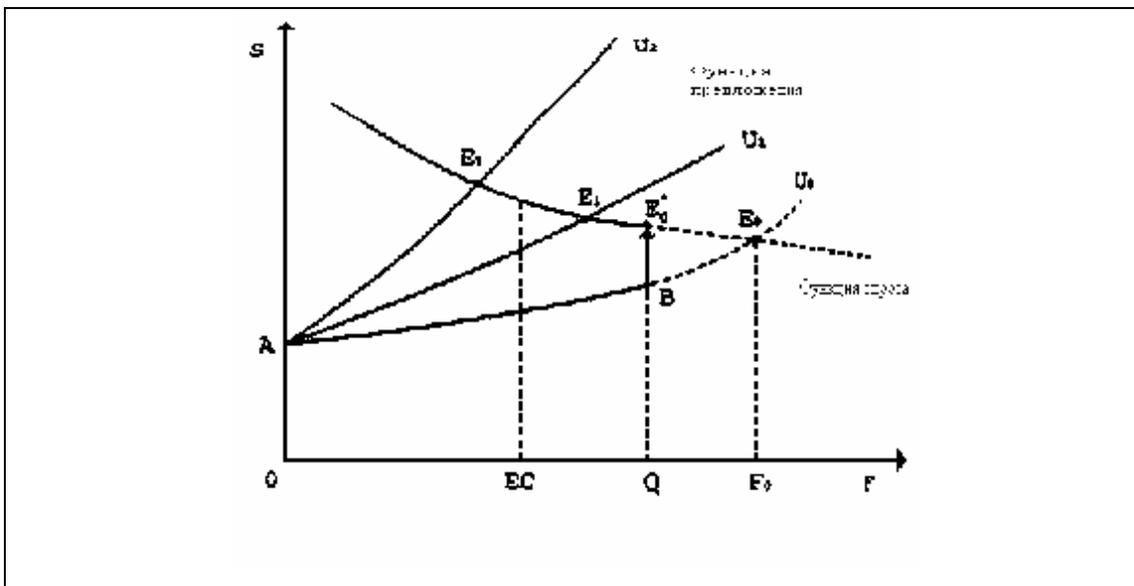
Комментарии к неравенству (4):

1. Пропускная способность дуги c_a больше, чем количество транспорта c_a , следовательно, $c_a > d_a$.

2. Распределение очередей λ_a на дуге положительно при c_a (пропускной способности), равной вектору всех потоков.

Не будет проигравших до тех пор, пока размер платы будет превышать показатель задержки транспорта, поскольку плата за проезд замещает потерянное время.

На рисунке изображена кривая оказания услуг, показывающая, как общие транспортные расходы S^* увеличиваются в зависимости от величины транспортного потока F при различных моделях введения платы за проезд U .



Функция спроса с ограничением пропускной способности дорожной сети

На рисунке также изображена кривая спроса, которая определяет величину транспортного потока F , связанную с заданным уровнем обслуживания или размером общих транспортных расходов S .

Точка равновесия E_0 будет достигнута, если на транспортной сети не будет никаких ограничений пропускной способности. Соответствующее значение равновесного спроса при отсутствии ограничений пропускной

способности приведет к превышению как физически допустимой пропускной способности, так и допустимого уровня загрязнения окружающей среды ($F_0 > Q$ и $F_0 > EC$). На практике, как только величина транспортного потока достигает физически возможной пропускной способности транспортной сети ($F = Q$), будут образовываться очереди из транспортных средств, а квалификация водителей будет соответствовать задержкам в очередях. Фактическая задержка очередей будет расти, пока не достигнет соответственного спроса при определенной пропускной способности транспортной сети. В результате, будет достигнута точка равновесия E_0 , а задержка очередей будет соответствовать BE_0^* , так как задержки очередей являются причиной потери времени, то будет целесообразным удаление очередей с помощью введения платы. Это может быть легко сделано путем замещения задержки очередей BE_0^* эквивалентным размером платы за проезд. Однако на практике может понадобиться снижение спроса на транспортные сети до уровня меньшего, чем физически допустимая пропускная способность сети. Типичной ситуацией является вариант, при котором величина транспортного потока на каждой улице сети или общая величина машино-километров по всей транспортной сети не приводят к превышению предельно допустимого загрязнения окружающей среды.

На рисунке мы также видим, что при использовании модели введения платы $U1$ равновесие спроса $F1$, соответствующее точке $E1$, меньше, чем физически допустимая пропускная способность, но больше, чем допустимый уровень загрязнения окружающей среды ($EC < F1 < Q$). При модели введения платы за проезд $U2$ равновесие спроса ($F2$), соответствующее точке $E2$, обеспечивает выполнение как экологических, так и физических норм.

С помощью введения платы, эквивалентной величине простоя транспорта в пробке, мы получим модель равновесия транспортного потока сети дорог без образования очередей. Возможное решение – введение <http://ej.kubagro.ru/2008/03/pdf/14.pdf>

платы за проезд, которое, в свою очередь, может быть использовано для сдерживания спроса на поездки внутри транспортной сети, в пределах допустимого загрязнения окружающей среды.

Необходимо учитывать также обязательное наличие альтернативной бесплатной дороги. Об этом гласит ФЗ о платных автодорогах, в противном случае, будем иметь безальтернативную ситуацию, при которой все водители будут платить за проезд, а решения проблемы не появится, то есть не будет необходимого нам эффекта перераспределения потока по участкам транспортной сети.

Таким образом, интересующая нас проблема ликвидации пробок в крупных городах будет решаться путем установления приемлемой модели введения платы за проезд (U), которая сдержит транспортный поток в заданных пределах, в данном случае, ниже установленного уровня загрязнения окружающей среды и физически допустимой пропускной способности. Реализация модели введения платы на транспортной сети, удовлетворяющей данным ограничениям, – не единственное средство ликвидации пробок. Поэтому конкретную схему платы за проезд в центр города необходимо выбирать из множества альтернативных решений таким образом, чтобы она оптимизировала (максимизировала) общественную выгоду.

Выводы

1. В результате проведенного исследования задача сводится к определению среди множества моделей наиболее рациональной для введения платы за проезд в условиях административно-территориальной единицы.

2. После выбора модели, ее необходимо оптимизировать. При этом должны учитываться следующие критерии:

2.1. Сдерживание величины спроса на поездки ниже уровня пропускной способности конкретной транспортной сети.

2.2. Соблюдение экологических норм предельно допустимого уровня загрязнения окружающей среды.

3. Средства, полученные при использовании оптимизированной модели, необходимо направить на строительство развязок, объездных дорог и тоннелей, улучшение дорожного покрытия городских улиц.

Список литературы

1. Evans A.W. Цены за проезд в пробках: когда это хорошая политика? // *Journal of Transport Economics and Policy*. – 1992. – №26. – С. 213–243.
2. «Ferrari» Цена на проезд и равновесие транспортной сети. Транспортное исследование Б. – 1995. – №29. – С. 357–372.
3. Федеральный Закон Российской Федерации от 8 ноября 2007 г. № 257-ФЗ "Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации".
4. Sheffi Y. Городские транспортные сети: Анализ устойчивости с помощью методов математического программирования, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1985, New Jersey.