

**ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ  
МНОГОПОЛОСНЫХ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ  
GUIDELINES FOR DETERMINING CAPACITY  
OF MULTI-LANE HIGHWAYS**

*Гук В.И.*, доктор технических наук, профессор;

*Запорожцева Е.В.*, ассистент

(Харьковский национальный университет строительства и архитектуры)

*Hooke V.I.*, Doctor of Technical Sciences, Professor;

*Zaporozhceva H.V.*, Assistant

(Kharkov National University of Construction and architecture)

**Аннотация.** *Формулируются принципы, которые необходимо учитывать при расчете пропускной способности полос движения на автомагистралях, приводится вывод пропускной способности стандартного участка полосы движения на основе удельной интенсивности.*

**Abstract.** *Laying out principles that should be considered when calculating the capacity of highway lanes. Bringing the capacity of the standard lane area based on the specific intensity.*

### **Введение**

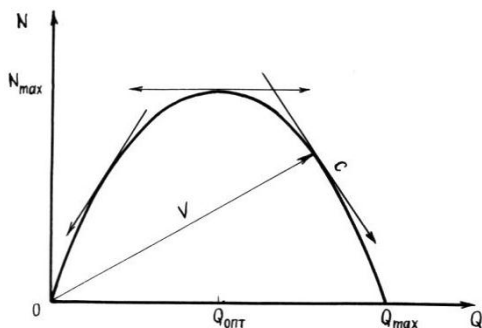
Анализ литературных источников позволяет сделать выводы, что пропускную способность полосы движения разные исследователи изучали на фундаменте прохождения динамического габарита автомобиля через пересечение [7], по распределению интервалов во времени между автомобилями [8], по зависимостям между скоростью и интенсивностью [1; 11], учитывали влияние плотности на интенсивность [2–4], а на многополосных дорогах учитывали уменьшения пропускных способностей по сравнению с первой от края полосы [3; 12].

Авторы указывали на влияние изменения скорости на изменение интенсивности [1, 2, 7, 8, 12] и на влияние, в свою очередь, изменений интенсивности на изменение скорости [9, 1, 12, 13]. Но при изучении движения только отдельных автомобилей это влияние не было формально определено.

Только в трудах [2; 3] транспортный поток рассматривался как единое целое, автомобиль как единица потока, что позволило описать зависимость между изменениями интенсивности и скорости в дифференциальной форме и строить соответствующие уравнения движения.

### 1. Принципы определения пропускной способности

На общей диаграмме транспортного потока (рисунок 1) указано место пропускной способности  $N_{max}$  в пределах точки бифуркации, которое требует определения для каждой полосы движения. Это неустойчивое состояние.



**Рисунок 1** – Определения места максимального уровня интенсивности  $N_{max}$  на уровне пропускной способности

Поэтому, при определении пропускной способности полосы движения и решения задач безопасного движения транспортных потоков при проектировании многополосных автомагистралей необходимо учитывать, следуя принципы:

1. Принцип единства транспортного потока как целого, где движение последовательных автомобилей очень близко повторяет движение лидирующего автомобиля, т.е. новая парадигма «первичной является целостность потока, а вторичным – положение и скорость автомобиля в потоке» [2].

2. Принцип непрерывного потока динамических габаритов автомобилей на уровне пропускной способности полосы.

3. Принцип распределения интервалов между автомобилями при прохождении их через пересечение мимо наблюдателя на уровне пропускной способности полосы.

4. Принцип оптимальной плотности размещения автомобилей по полосе движения на уровне пропускной способности.

5. Принцип максимальной плотности транспортного потока при заторе.

6. Принцип влияния скорости на интенсивность.

7. Принцип скорости свободного движения, когда отсутствует влияние на движение автомобиля других автомобилей.

8. Принцип оптимальной скорости транспортного потока на уровне пропускной способности полосы движения.

9. Принцип взаимосвязи максимальных параметров транспортного потока на уровне пропускной способности.

10. Принцип влияния изменения скорости на смену интенсивности потока.

11. Принцип изменения пропускной способности полос движения (коэффициент полосности).

12. Принцип распределения интенсивности транспортного потока по полосе движения в ее пространстве, т.е. принцип удельной интенсивности.

С учетом приведенных выше обобщенных принципов необходимо определять уровни пропускной способности полос многополосной автомагистрали.

## **2. Пропускная способность участка полосы движения**

Как определено выше, пропускную способность полосы движения необходимо определять на основе приведенных принципов не в пересечении, а в пространстве автомагистрали с учетом распределения интенсивности по длине полосы  $L$ , где скорость потока  $V$  находится под воздействием изменения интенсивности  $dN(t)/dt$ . Указана зависимость изучалась в трудах [3-4] как

$$V(t) = C \, dN(t)/dt, \quad (1)$$

где коэффициент  $C$  имеет размерность км год/авт. и определяет пространственную взаимосвязь между автомобилями в транспортном потоке  $C = L/N$ . Она определена как характеристика, которая описывает напряжённость в движении потока из-за уменьшения дистанции между автомобилями. В то же время обратная характеристика напряжённости потока указывает на часть интенсивности потока  $N$ , что размещается на участке полосы  $L$ . Это удельная интенсивность  $U$ , т.е.  $U = N/L$  и имеет размерность авт./год км.

$$U = C - 1. \quad (2)$$

Уравнение (1), с учетом (2), позволяет описать зависимость интенсивности  $N(t)$  от скорости в явном виде для времени, когда имеет место приращение или уменьшение интенсивности  $dN(t)/dt$ .

Проинтегрировав (1), найдем:

$$\begin{aligned} N(t) &= U \int_0^t V(t) dt + N(0); \\ N(t) - N(0) &= U \int_0^t V(t) dt, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $N(0)$  – значение интенсивности в начальное время  $t = 0$ .

Когда транспортный поток начинает формироваться в отдельные группы  $N(t)$  будет разрывной функцией, т.е.  $dN(t)/dt$  не существует и уравнение (1) не имеет решения. Поэтому выполним замену переменных, используя еди-

ничную характеристику движения (путь)  $L(t)$ , где, как известно,  $L(t) = \int V(t) dt$ , и потому:

$$V(t) = dL(t)/dt.$$

Скорость  $V(t)$  всегда есть непрерывная функция времени.

Учитывая уравнение (1) и то, что аппроксимируемая кривая проходит через начало координат (см. рисунок 1), получим уравнения для вариации относительно точки  $N(t)$ :

$$L(t) = N(t)/U \quad \text{или} \quad dL(t) = dN(t)/U. \quad (4)$$

Таким образом, в соответствии из [2-3], закон увеличения удельной интенсивности транспортного потока будет выражаться одной из следующих формул:

$$\begin{aligned} N &= UL; \quad N = U \int V(t) dt; \quad L = N/U; \\ V &= 1/U \int dN/dt. \end{aligned} \quad (5)$$

Тогда удельная интенсивность будет определяться как

$$U = N/L.$$

Длину участка полосы движения целесообразно определять как элементарную на один километр с учетом распределения максимальной плотности потока на километре. В то же время интенсивность  $N(t)$  будем определять с учетом влияния на изменение ее скорости  $V(t)$  под воздействием плотности  $Q$  авт./км:

$$N(t) = QV(t). \quad (6)$$

Плотность транспортного потока есть мгновенной переменной потока, которая характеризует размещение автомобилей на участке полос автомагистрали и есть сопротивление скорости. Технико-экономическое значение плотности, как  $Q(t, L)$ , указывает одновременно на уровень загрузки автомагистрали, на степень использования их пропускной способности и возможность движения автомобилей, т.е. на проезжаемость по автомагистрали. По натурные наблюдения плотности очень трудоёмки. Только воздушная фотосъемка позволяет мгновенно фиксировать автомобили, размещенные во время движения на проезжей части полос автомагистрали. Поэтому более обстоятельно изучалась не плотность, а зависимости скорости и интенсивности от плотности, или  $V(Q)$  и  $N(Q)$ . Основополагающей является линейная зависимость  $V(Q)$ , которая изучалась по экспериментальным наблюдениям [3, 6–12] и методами теории массового обслуживания [3]:

$$V(Q) = V_0 (1 - Q/Q_m), \quad (7)$$

при чем, когда  $Q = 0$ ,  $V = V_0$ ; когда  $Q = Q_m$ ,  $V = 0$ , где  $V_0$  скорость свободного движения в пределах, разрешенных правилами движения;

$Q_m$  максимальное значение плотности при заторе, зависит от длины автомобилей и состава потока. Для потока из легковых автомобилей максимальная плотность, согласно [7–9] составляет 100–125 автомобилей на километре полосы.

Зависимость интенсивности от плотности  $N(Q)$ , с учетом  $N = QV$ , но заменой  $V(Q)$  на уравнение (7) получим в виде

$$N(Q) = QV(1 - Q/Q_m), \quad (8)$$

где когда  $Q = 0$ ,  $N = 0$ ; когда  $Q = Q_m$  также  $N=0$ .

В то же время, путем не сложных преобразований получим зависимость интенсивности от скорости потока  $N(V)$ :

$$N(V) = Q_m V(1 - V/V_0). \quad (9)$$

В свою очередь, определение зависимости интенсивности от плотности (8) и интенсивности от скорости (9) позволяют определить с учетом  $U = N/L$ , соответствующие уравнения для удельной интенсивности  $U$ :

$$U(Q) = V_0 Q(Q - Q_m)/LQ_m. \quad (10)$$

$$U(V) = Q_m V(V_0 - V)/LV_0. \quad (11)$$

При определении значений длины полосы в уравнениях (10) и (11) необходимо учитывать распределение на  $L$  максимальной плотности при заторе.

Приведенные выше уравнение позволили построить графическую зависимость удельной интенсивности от плотности и скорости,  $U(Q)$  и  $U(V)$ , на единичном участке по длине полосы движения (один километр).

Математически удельная интенсивность  $U$  характеризует наклон прямой, которая описывает зависимости  $L(N)$  и  $N(L)$ .

Физическое значение удельной интенсивности в движении транспортного потока уточним, рассматривая движение за достаточно малый промежуток времени  $\Delta t$ , что позволяет приблизительно принять:

$$w = \frac{dN}{dt} \approx \frac{\Delta N}{\Delta t}. \quad (12)$$

Тогда из уравнения (5) имеем:

$$V = 1/U * \Delta N / \Delta t; \quad \Delta N = U V \Delta t; \quad \Delta t = 1/U * \Delta N / V, \quad (13)$$

где:

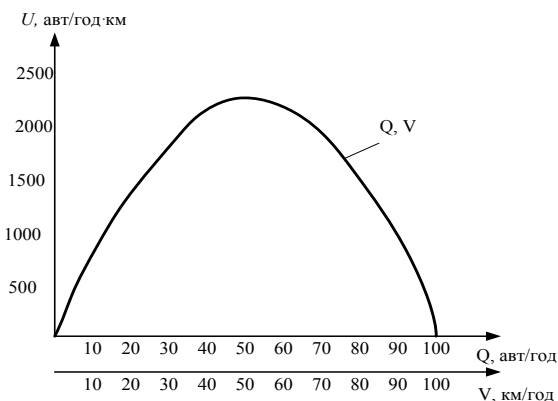
а) если под воздействием скорости состоится изменение интенсивности на величину  $\Delta N$  за данный промежуток времени, то скорость должна быть тем больше, чем меньше удельная интенсивность в транспортном потоке;

б) если скорость заданной величины наблюдается на протяжении  $\Delta t$  секунд, то производится под ее влиянием изменение интенсивности тем более чем больше удельная интенсивность на полосе;

в) если скорость заданной величины должна способствовать данному изменению интенсивности, то понадобится для этого тем больше времени, чем меньше будет удельная интенсивность движения.

Следовательно, удельная интенсивность является только характеристикой транспортного потока, независимой от любых внешних обстоятельств. Все вышесказанное относится к движению насыщенного транспортного потока (непрерывный поток динамических габаритов).

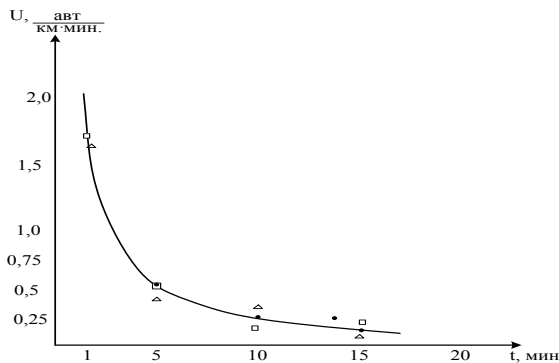
На рисунке 2 предоставлена графическая зависимость удельной интенсивности от скорости и плотности транспортного потока на единичном длине участка дороги, откуда видно, что и характер, и цифровые значения удельной интенсивности идентичны основной диаграмме транспортного потока  $N(Q)$ .



**Рисунок 2** – Зависимость удельной интенсивности от плотности и скорости

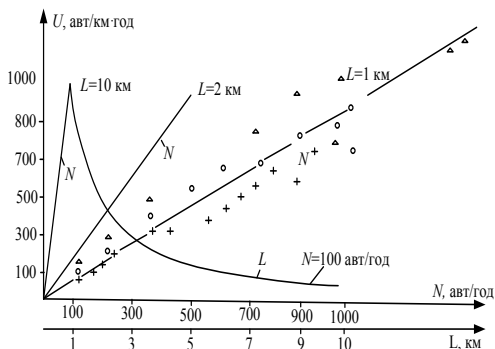
Характер изменения удельной интенсивности во времени представлен на рисунке 3 вместе с экспериментальными данными исследования параметра неразрывности (DIFF), которая имеет размерность удельной интенсивности.

Кривая построена за уравнениями (2.2.8) и (2.2.9). Наблюдается достаточно близкое соответствие теоретической кривой и натуральных наблюдений [1; 12], что подтверждает правильность теоретических изложений.



**Рисунок 3** – Закономерность уменьшения удельной интенсивности во времени

Зависимость удельной интенсивности  $U$  от интенсивности  $N$  и пути  $L$  вместе с результатами натуральных наблюдений графически представлена на рисунке 4. На графике видно, как быстро уменьшается удельная интенсивность с увеличением пути движения, где она распределяется, и с уменьшением интенсивности транспортного потока.



**Рисунок 4** – Изменение удельной интенсивности  $U$  в зависимости от интенсивности движения  $N$  и длины участка пути  $L$

Интересным является график дифференциальной удельной интенсивности на рисунке 3, где видим как быстро, особенно в минутном интервале, изменяется дифференциальная удельная интенсивность, то есть, как быстро сжимается или рассасывается транспортный поток.

### Выводы

Удельная интенсивность движения позволяет сравнивать разные городские магистрали и дороги в зависимости от распределения на них интенсивности транспортного потока и таким образом характеризовать их работоспособность во времени (час, сутки, год) и в пространстве. Американский исследователь Ягода предложил использовать отношение  $N/L$  как индекс взаимосвязи районов управления движения.

Анализ уравнений (8) и (9) на определение максимального значения пропускной способности полосы движения при оптимальных значениях скорости свободного движения и максимальной плотности указывает на уровень 2500 автомобилей через час, что равняется значению за уравнением (1.11) рекомендованным в трудах [8, 9, 63].

Дальше необходимо определить распределение, или уменьшенную пропускную способность по другим полосам движения на автомагистралях с учетом задержек на переезде с полосы на полосу в условиях непрерывного движения транспортного потока, т.е. определить соответствующий коэффициент задержек.

### Литература

1. Вол, М. Анализ транспортных систем / М. Вол, Б. Мартин; сокр. пер. с англ. – М.: Транспорт, 1981. – 514 с.
2. Врубель, Ю.А. Организация дорожного движения: в двух частях / Ю.А. Врубель. – Минск: Белорус. Фонд безопасности дор. движ, 1996. – Ч. 1. – 328 с.
3. Гук, В.І. Транспортні потоки: теорія та її застосування в урбаністиці: монографія / В.І. Гук, Ю.М. Шкодовський. – Х.: Золоті сторінки, 2009. – 232 с.
4. Гук, В.И. Элементы теории транспортных потоков и проектирование улиц и дорог / В.И. Гук. – К.: УМК ВО, 1991. – 254 с.
5. Автомобильные дороги: ДБН В.2.3-4-2000. – К.: Госстрой Украины, 2000.
6. Градостроительство. Планировка и застройка городских поселений: ДБН 360-92\*\*. – К.: Госстрой Украины, 2002.
7. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю; пер. с англ. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
8. Руководство по определению пропускной способности автомагистралей США / перевод с англ. // Строительство и эксплуатация автомо-



бильных дорог: экспресс-информация / ВИНТИ. – 1966. – № 42, 46, 47. – 1967. – № 4, 5, 6, 12, 13, 14, 15.

9. Сильянов, В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.В. Сильянов, Э.Р. Домке. – М.: Издат. центр «Академия», 2007. – 352 с.

10. Greenshields, B.D. Objective Measurements of Driver Behavior // Highway Vehicle Safety. – 1968. – Vol. 13. – Н. 35–47.

11. Highway Capacity Manual (HCM) Glossary of Traffic Terms. <http://www.aattraffic.com/HCMGlossary.htm>.

12. Kerner, B.S. Theory of congested highway traffic: empirical features and methods of tracing and prediction // *Proc. 15th International Symposium on Transpn and Traffic Theory* / M. Taylor, ed. – 2002. – Pp. 417–439.

13. Kim, Jin-Tae. Development and testing of computational procedures for signal timing design at isolated intersections: Ph. D. dissertation / Jin-Tae Kim. – United States. – Florida: University of Florida, 2001. – 157 pages.

УДК 711.4; 72.01

**ПРИНЦИПЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СООРУЖЕНИЙ, ВХОДЯЩИХ  
В СОСТАВ ЭКОПОСЕЛЕНИЙ, С ПРИРОДНЫМ ЛАНДШАФТОМ  
INTERACTION PRINCIPLES OF ECOVILLAGES' STRUCTURES  
WITH THE NATURAL LANDSCAPE**

**Гук В.И.**, доктор технических наук, профессор;

**Печерцева Е.А.**, аспирант, магистр архитектуры

(Харьковский национальный университет строительства и архитектуры)

**Hooke V.I.**, Doctor of Technical Sciences, Professor;

**Pechertseva E.A.**, Graduate Student, Master of Architecture

(Kharkov National University of Construction and Architecture)

**Аннотация.** В статье рассматриваются обобщенные принципы взаимодействия зданий и сооружений, входящих в состав экопоселений с природным ландшафтом, а также влияние этих принципов на форму и характер архитектурных объектов.

**Abstract.** *There are generic interaction principles of ecovillages' structures with the natural landscape, were revealed in research. There are also identified the influence of this principles on the form and character of architectural objects.*

### **Введение**

Здания являются основными структурными элементами экопоселения, влияющими на природный ландшафт. Перед проектировщиком всегда