

## ЛЕКЦИЯ № 2

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

#### 2.1. Транспортный поток

При формировании информации о состоянии дорожного движения в первую очередь необходимы данные, характеризующие транспортный поток: интенсивность транспортного потока, его состав по типам транспортных средств, плотность потока, скорость движения, задержки движения. Охарактеризуем эти и другие показатели транспортного потока.

*Интенсивность транспортного потока (интенсивность движения)  $N_a$*  – это число транспортных средств, проезжающих через сечение дороги за единицу времени. В качестве расчетного периода времени для определения интенсивности движения принимают год, месяц, сутки, час и более короткие промежутки времени (минуты, секунды) в зависимости от поставленной задачи наблюдения и средств измерения.

На УДС можно выделить отдельные участки и зоны, где движение достигает максимальных размеров, в то время как на других участках оно в несколько раз меньше. Такая пространственная неравномерность отражает прежде всего неравномерность размещения грузо- и пассажирообразующих пунктов и мест их притяжения. На рисунке 2.1 показан пример картограммы, характеризующей интенсивность транспортных потоков (в автомобилях в час) на магистральных улицах города.

*Неравномерность транспортных потоков* во времени (в течение года, месяца, суток и даже часа) имеет важнейшее значение в проблеме организации движения. Типичная кривая распределения интенсивности движения в течение суток на городской магистрали показана на рисунке 2.2.

Термин "час пик" (см. рисунок 2.2) является условным и объясняется лишь тем, что час является основной единицей измерения времени. Продолжительность наибольшей интенсивности движения может быть больше или меньше часа. Поэтому наиболее точным будет понятие пиковый период, под которым подразумевают время, в течение которого интенсивность, измеренная по малым отрезкам времени (например, по 15-минутным наблюдениям), превышает среднюю интенсивность периода наиболее оживленного движения.



Рисунок 2.1 - Картограмма среднесуточной интенсивности транспортных потоков в городе

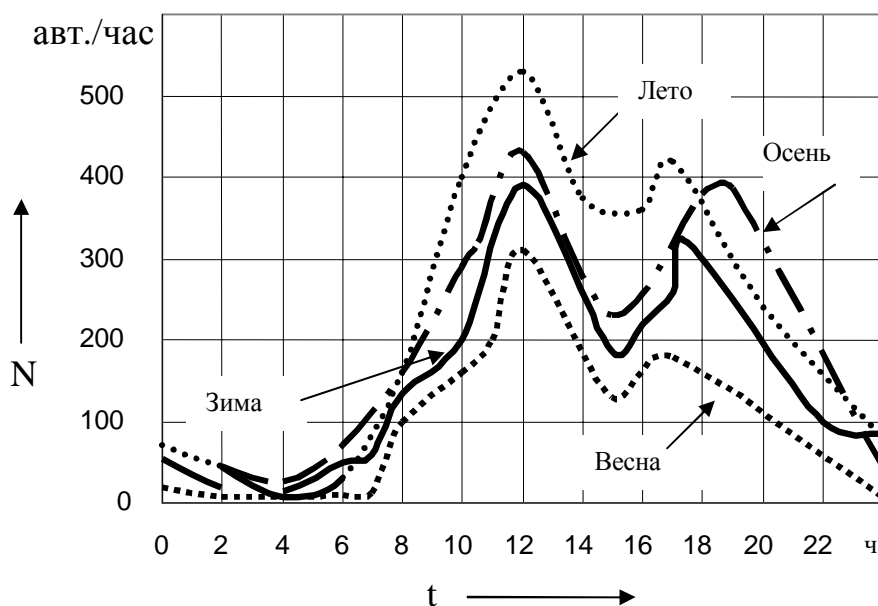


Рисунок 2.2 - Распределение интенсивности движения транспортных потоков в течение суток

Временная неравномерность транспортных потоков может быть охарактеризована соответствующим коэффициентом неравномерности  $K_n$ . Этот коэффициент может быть вычислен для годовой, суточной и часовой неравномерностей движения. Неравномерность может быть выражена как доля интенсивности движения, приходящейся на данный отрезок времени, либо как отношение наблюдаемой интенсивности к средней за одинаковые промежутки времени.

Коэффициент годовой неравномерности:

$$K_{\dot{a}\ddot{a}} = \frac{12N_{\dot{a}i}}{N_{\dot{a}\ddot{a}}}, \quad (2.1)$$

где 12 – число месяцев в году;  $N_{am}$  – интенсивность движения за сравниваемый месяц, авт/мес;  $N_{az}$  – суммарная интенсивность движения за год, авт/г.

Коэффициент суточной неравномерности

$$K_{\dot{a}\ddot{a}} = \frac{24N_{\dot{a}i}}{N_{\dot{a}\ddot{a}}}, \quad (2.2)$$

где 24 – число часов в сутках;  $N_{ac}$  – интенсивность движения за сравниваемый час, авт/ч;  $N_{ac}$  – суммарная интенсивность движения за сутки, авт/сут.

Необходимо отметить, что в публикациях по дорожному движению применяют понятие объем движения в отличие от интенсивности движения. Под объемом движения понимают фактическое число автомобилей, проехавших по дороге в течение принятой единицы времени, полученное непрерывным наблюдением за обозначенный период.

Наиболее часто интенсивность движения транспортных средств и пешеходов в практике организации движения характеризуют их часовыми значениями. На дорогах с более высоким уровнем интенсивности движения транспортных средств меньше неравномерность движения и стабильнее интенсивность в пиковые периоды.

Интенсивность, приходящаяся на одну полосу - *удельная интенсивность движения*  $M_a$ . Если известно конкретное распределение интенсивности движения по полосам и оно существенно неравномерно, то в качестве расчетной интенсивности  $M_a$  можно принять интенсивность движения по наиболее загруженной полосе.

*Временной интервал*  $t_i$  между следующими друг за другом по одной полосе транспортными средствами является показателем, обратным интенсивности движения. Математическое ожидание  $E(t_i)$  определяется зависимостью  $E(t_i) = 3600/M_a$ . Если интервал  $t_i$  между следующими друг за другом по полосе автомобилями более 10 с, то их взаимное влияние является относительно слабым и условия движения характеризуются как "свободные".

*Состав транспортного потока* характеризуется соотношением в нем транс-

портных средств различного типа. Состав транспортного потока влияет на загрузку дорог (стесненность движения), что объясняется, прежде всего, существенной разницей в габаритных размерах автомобилей.

*Динамический габарит автомобиля* зависит от времени реакции водителя и тормозных качеств транспортных средств. Под динамическим габаритом  $L_d$  (рисунок 2.3) подразумевается участок дороги, минимально необходимый для безопасного движения в транспортном потоке с заданной скоростью автомобиля, длина которого включает длину автомобиля  $l_a$  и дистанцию  $d$ , называемую *дистанцией безопасности*.

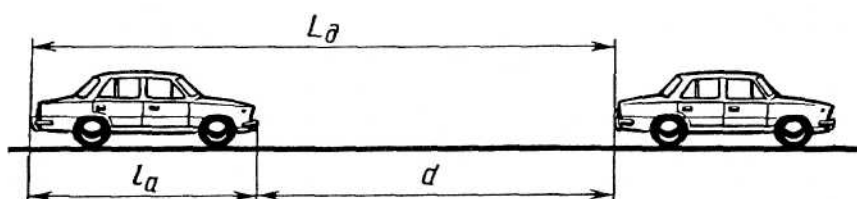


Рисунок 2.3 - Динамический габарит автомобиля в плотном транспортном потоке

Фактический динамический габарит автомобиля зависит также от обзорности, легкости управления, маневренности автомобиля, которые влияют на дистанцию, избираемую водителем.

При обследовании транспортных потоков большой интенсивности используют, как правило, упрощенный метод учета категорий транспортных средств, указывая соответствующую размерность в физических единицах (авт/ч) или в приведенных (ед/ч).

Для решения практических задач ОДД могут быть использованы рекомендации по выбору значений коэффициентов приведения  $K_{пр}$ , содержащиеся в отечественных нормативных документах.

Таблица 2.1 – Коэффициенты приведения для различных видов транспортных средств

Вид транспортного средства	$K_{пр}$
Легковые автомобили	1
Мотоциклы	
с коляской	0,75
одиночные	0,5
Грузовые автомобили грузоподъемностью, т	
до 2 включительно	1,5

Свыше 2 до 5	1,7
“ 5 до 8	2,0
“ 8 до 14	3,0
Автобусы	2,5
Троллейбусы	3,0
Сочлененные автобусы и троллейбусы	4,0
Микроавтобусы	1,5
Автопоезда грузоподъемностью, т:	
до 12 включительно	3,5
свыше 12 до 20	4,0
" 20 до 30	5,0
" 30	6,0

С помощью коэффициентов приведения можно получить показатель интенсивности движения в условных приведенных единицах, ед/ч:

$$N_{\text{вд}} = \sum_1^n (N_i K_{\text{вд}i}), \quad (2.3)$$

где  $N_i$  – интенсивность движения автомобилей данного типа;  $K_{\text{вд}i}$  – соответствующие коэффициенты приведения для данной группы автомобилей;  $n$  – число типов автомобилей, на которые разделены данные наблюдений.

*Плотность транспортного потока  $q_a$*  является пространственной характеристикой, определяющей степень стесненности движения на полосе дороги. Ее измеряют числом транспортных средств, приходящихся на 1 км протяженности дороги. Предельная плотность достигается при неподвижном состоянии колонны автомобилей, расположенных вплотную друг к другу на полосе. Для потока современных легковых автомобилей теоретически такое предельное значение  $q_{\text{max}}$  составляет около 200 авт/км. Плотность  $q_{\text{max}}$  – показатель, характеризующий структуру (состав) транспортного потока. Наблюдения показывают, что при колонном движении легковых автомобилей с малой скоростью плотность потока может достигать 100 авт/км. Чем меньше плотность потока, тем свободнее себя чувствуют водители, тем выше скорость, которую они выбирают. В зависимости от плотности потока движение по степени стесненности подразделяют на *свободное, частично связанное, насыщенное, колонное*.

*Скорость движения*  $v_a$  является важнейшим показателем, так как представляет целевую функцию дорожного движения. В практике организации движения принято оценивать скорость движения транспортных средств мгновенными ее значениями  $v_a$ , зафиксированными в отдельных типичных сечениях (точках) дороги.

*Скорость сообщения*  $v_c$  является измерителем быстроты доставки пассажиров и грузов и определяется как отношение расстояния между пунктами сообщения ко времени нахождения транспортного средства в пути (времени сообщения). Этот же показатель применяется для характеристики скорости движения автомобилей по отдельным участкам дорог.

*Темп движения* является показателем, обратным скорости сообщения, и измеряется временем в секундах, затрачиваемым на преодоление единицы длины пути в километрах.

Скорость одиночно движущегося автомобиля определяет водитель, являющийся управляющим звеном в системе ВАДС. Водитель постоянно стремится выбрать наиболее целесообразный режим скорости исходя из двух главных критериев – минимально возможной затраты времени и обеспечения безопасности движения.

Рассмотрим влияние параметров транспортных средств и дороги на скорость движения. Верхний предел скорости автомобиля определяется его максимальной конструктивной скоростью  $v_{max}$ , которая зависит, главным образом, от удельной мощности двигателя. Поэтому даже при благоприятных дорожных условиях водитель ведет автомобиль с максимальной скоростью длительного движения или *крейсерской скоростью*. Крейсерская скорость для большинства автомобилей составляет  $(0,75 \div 0,85) v_{max}$ .

Существенное влияние на скорость движения оказывают те элементы дорожных условий, которые связаны с особенностями психофизиологического восприятия водителя и уверенностью управления. Здесь вновь необходимо подчеркнуть неразрывность элементов системы ВАДС и решающее влияние водителей на характеристики дорожного движения.

Важнейшими факторами, оказывающими влияние на режимы движения через восприятие водителя, являются расстояние (дальность) видимости  $S_B$  на дороге и ширина полосы  $B_d$ , т. е. "коридора", выделенного для движения автомобилей в один ряд. Под расстоянием видимости понимается протяженность участка дороги перед автомобилем, на котором водитель в состоянии различить поверхность дороги. Расстояние  $S_B$

определяет возможность для водителя заблаговременно оценивать условия движения и прогнозировать обстановку. Обязательным условием безопасности движения является превышение расстояния  $S_B$  над значением остановочного пути  $S_0$  данного транспортного средства в любых конкретных дорожных условиях:  $S_B > S_0$ .

При малой дальности видимости водитель лишается возможности прогнозировать обстановку, испытывает неуверенность и снижает скорость автомобиля.

Ширина полосы движения, предназначенная для движения автомобилей в один ряд и выделенная обычно продольной разметкой, определяет требования к траектории движения автомобиля. Чем меньше ширина полосы, тем более жесткие требования предъявляются к водителю и тем больше его психическое напряжение при обеспечении точного положения автомобиля на дороге. При малой ширине полосы, а также при встречном разъезде на узкой дороге водитель под воздействием зрительного восприятия снижает скорость.

На фактическую скорость движения автомобилей оказывают влияние также и другие причины и особенно существенные – метеорологические условия, а в темное время суток – освещение дороги.

Влияние рассмотренных факторов на скорость движения проявляется в условиях свободного движения транспортных средств, т. е. когда интенсивность и плотность движения относительно невелики и не ощущается взаимное стеснение движения. При повышении плотности транспортного потока возникает стеснение движения, и скорость падает.

*Задержки движения* являются показателем, на который должно быть обращено особое внимание при оценке состояния дорожного движения. К задержкам следует относить потери времени на все вынужденные остановки транспортных средств не только перед перекрестками, железнодорожными переездами, при заторах на перегонах, но также из-за снижения скорости транспортного потока по сравнению со сложившейся средней скоростью свободного движения на данном участке дороги.

$$t_{\Delta} = \int_{l_1}^{l_n} \left[ \frac{1}{v_{\phi}(l)} - \frac{1}{v_p(l)} \right] dl, \quad (2.4)$$

где  $v_{\phi}$  и  $v_p$  – соответственно фактическая и принятая расчетная (или оптимальная) скорости, м/с;  $dl$  – элементарный отрезок дороги, м.

В качестве расчетной скорости для городской магистрали можно принять разрешенный Правилами дорожного движения Российской Федерации предел скорости (например, 60 км/ч). Исходными для определения задержки могут быть приняты нормативная скорость сообщения или нормативный темп движения для данного типа дороги, если таковые будут установлены. Так, если на дороге  $v_p = 60$  км/ч, что соответствует темпу движения без задержек 60 с/км, а установленная опытной проверкой  $v_\phi = 30$  км/ч (темп движения – 120 с/км), то потери времени каждым автомобилем в потоке – 60 с/км. Если длина  $l$  рассматриваемого участка магистрали равна, например, 5 км, условная задержка каждого автомобиля составит 5 мин.

Общие потери времени для транспортного потока

$$T_\Delta = N_a t_\Delta T, \quad (2.5)$$

где  $t_\Delta$  – средняя суммарная задержка одного автомобиля, с;  $T$  – продолжительность наблюдения, ч.

Задержки движения в реальных условиях можно разделить на две основные группы: на перегонах дорог и на пересечениях. Задержки на перегонах могут быть вызваны маневрирующими или медленно движущимися транспортными средствами, пешеходным движением, помехами от стоящих автомобилей, в том числе при погрузочно-разгрузочных операциях, а также заторами, связанными с перенасыщением дороги транспортными средствами.

Задержки на пересечениях обусловлены необходимостью пропуска транспортных средств и пешеходов по пересекающим направлениям на нерегулируемых перекрестках, простоями при запрещающих сигналах светофоров.

## 2.2. Пешеходный поток

К основным показателям, характеризующим движение пешеходов относятся его интенсивность, плотность и скорость.

*Интенсивность пешеходного потока*  $N_{\text{пеш}}$  колеблется в очень широких пределах в зависимости от функционального назначения улицы или дороги и от расположенных на них объектов притяжения. Особенно высокая интенсивность движения пешеходов наблюдается на главных и торговых улицах крупных городов, а также в зоне транс-



портных пересадочных узлов (вокзалов, станций метрополитена). Объем пешеходного потока в обоих направлениях вдоль больших городских магистралей в часы пик может достигать 15 – 20 тыс. чел-ч. Для пешеходных потоков характерна значительная временная неравномерность в течение суток (рисунок 2.4).

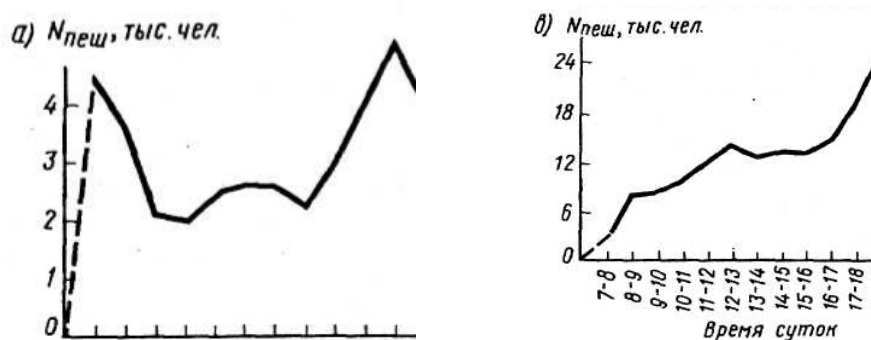


Рисунок 2.4 - Временная неравномерность пешеходного движения:

а – улица в промышленной зоне; б – площадь в центре города

Плотность пешеходного потока  $q_{пеш}$  так же, как и интенсивность, колеблется в широких пределах и оказывает влияние на скорость движения пешеходов и пропускную способность пешеходных путей. Так же, как и для транспортного потока, предельная плотность пешеходного потока определяется соответствующими габаритными размерами движущихся объектов. Так, человек в статическом положении в летней одежде занимает площадь  $0,1 - 0,2 \text{ м}^2$ , в зимней одежде –  $0,25 \text{ м}^2$ , а при наличии ручной клади – до  $0,5 \text{ м}^2$ .

В зависимости от плотности различают свободное и стесненное движение (свободные и стесненные условия движения). В свободных условиях ( $q_{пеш} \leq 0,5 \text{ чел/м}^2$ ) каждый человек в любой момент может изменить скорость и направление своего движения. В стесненных условиях ( $q_{пеш} > 0,5 \text{ чел/м}^2$ ) плотность потока ограничивает свободу и возможность изменять режим движения людей. Наблюдения показывают, что для свободного движения дистанция между движущимися в колонне людьми должна достигать около 2 м. Ее можно условно назвать "динамическим габаритом пешехода". Ощутимые помехи наблюдаются уже при  $0,7 - 0,8 \text{ чел/м}^2$ , а при  $4 - 5 \text{ чел/м}^2$  движение является полностью стесненным. Это предельное значение плотности, при которой поток еще может медленно продолжать движение.

Скорость пешеходного потока  $v_{пеш}$  обусловлена скоростью передвижения пешеходов в потоке. Скорость движения человека спокойным шагом колеблется в среднем

в пределах 0,5 – 1,5 м/с и зависит от возраста и состояния здоровья, цели передвижения, дорожных условий (ровности, продольного уклона и скользкости покрытия), состояния окружающей среды (видимости, осадков, температуры воздуха), таблица 2.2.

Таблица 2.2 - Скорость движения пешеходов, км/ч

Категория пешеходов	Пол	Медленный шаг	Средняя скорость		Средняя скорость	Быстрый шаг		Средняя скорость	Средняя скорость		Средняя скорость
			Спокойный шаг	Средняя скорость		Средняя скорость	Средняя скорость				
Школьники от 7 до 8 лет	М	2,7-3,9	3,1	4,0-5,2	4,4	5,4-6,5	5,9	7,2-10,4	8,5	11,2-13,0	12,2
	Ж	2,6-3,5	2,9	3,7-5,0	4,2	5,0-6,2	5,3	7,0-10,8	8,0	10,8-12,4	11,8
Школьники от 12 до 15 лет	М	3,5-4,6	3,8	5,0-5,8	5,2	5,9-7,1	6,5	7,8-11,7	10,0	13,2-16,0	14,6
	Ж	3,2-4,5	3,6	4,5-5,5	5,0	5,6-6,8	6,1	7,7-11,2	9,5	12,7-15,5	14,1
Молодые от 20 до 30 лет	М	3,5-4,6	4,2	4,8-6,2	5,7	6,3-7,8	6,9	8,8-13,0	11,0	14,4-18,0	16,7
	Ж	3,4-4,6	4,1	4,7-5,9	5,3	6,0-7,4	6,6	8,5-12,8	10,6	13,8-17,0	15,3
Среднего возраста от 30 до 40 лет	М	3,2-4,6	3,9	4,8-6,2	5,7	6,3-7,8	6,8	8,2-12,0	10,6	13,1-18,0	15,5
	Ж	3,0-4,4	3,8	4,6-5,8	5,2	5,9-7,2	6,5	8,1-11,6	9,8	12,0-17,0	14,1
Среднего возраста от 40 до 50 лет	М	2,9-4,3	3,8	4,6-5,8	5,3	6,0-7,2	6,6	7,6-11,1	9,6	11,3-17,0	14,3
	Ж	2,8-4,1	3,6	4,4-5,4	4,9	5,5-7,2	6,1	7,6-10,6	8,9	10,8-16,0	12,7
Пожилые от 50 до 60 лет	М	2,6-4,0	3,4	4,2-5,3	4,8	5,4-6,8	6,0	7,0-10,0	8,6	10,1-15,8	12,5
	Ж	2,5-3,9	3,3	4,2-5,0	4,5	5,2-6,5	5,6	6,9-9,0	7,9	10,0-14,0	11,2
Пожилые от 60 до 70 лет	М	2,4-3,4	3,0	3,5-4,4	3,9	4,5-6,0	5,1	6,2-7,6	7,0	9,0-12,0	10,5
	Ж	2,4-3,3	2,9	3,5-4,4	3,8	4,5-5,6	4,9	6,2-7,5	6,8	8,5-11,5	9,5
В состоянии алкогольного опьянения	М	2,6-3,6	3,2	3,8-4,8	4,4	5,0-6,4	5,4	7,0-8,6	8,2	9,0-13,0	10,0
Ведущие ребенка за руку	М	2,3-2,9	2,7	3,9-4,6	4,3	–	5,5	–	6,0	10,6-12,8	11,3
	Ж	2,0-3,4	3,0	3,5-4,6	4,1	4,7-5,5	5,2	5,8-8,3	6,9	9,0-12,0	10,0
С детской коляской	Ж	2,0-2,9	2,6	3,5-4,5	4,0	4,7-5,7	5,2	6,6-7,2	6,9	–	–
Идущие под руку	М/Ж	3,0-4,1	3,5	4,4-5,4	4,9	5,5-6,7	6,0	7,5-11,3	9,0	–	–

При организации пешеходных переходов необходимо применять такой показатель, как продолжительность задержек. Задержки можно определить по фактическому времени, потерянному каждым человеком, который вынужден дожидаться возможности перехода, или по среднему значению этого времени, отнесенному к каждому пешеходу, проходящему через данный перекресток.

### **2.3. Математическое описание транспортного потока**

Моделирование транспортного потока. При исследованиях и проектировании организации движения приходится прибегать к описанию транспортных потоков математическими методами. Первостепенными задачами, послужившими развитию моделирования транспортных потоков, явились изучение и обоснование пропускной способности дорог и их пересечений. Поведение транспортного потока очень изменчиво и зависит от действия многих факторов и их сочетаний. Наряду с техническими факторами (транспортные средства, дорога) решающее влияние на него оказывают поведение людей (водителей, пешеходов), а также состояние среды движения.

Известные и нашедшие практическое применение в организации дорожного движения математические модели можно разделить на две группы в зависимости от подхода: детерминированные и вероятностные (стохастические).

К детерминированным относятся модели, в основе которых лежит функциональная зависимость между отдельными показателями, например, скоростью и дистанцией между автомобилями в потоке. При этом принимается, что все автомобили удалены друг от друга на одинаковое расстояние.

Стохастические модели отличаются большей объективностью. В них транспортный поток рассматривается как вероятностный (случайный) процесс. Например, распределение временных интервалов между автомобилями в потоке может приниматься не строго определенным, а случайным.

Детерминированные модели. Простейшей математической моделью, описывающей поток автомобилей, является так называемая упрощенная динамическая модель. Ее применяют для определения максимально возможной интенсивности движения по одной полосе дороги  $N_{a \max}$  при скорости  $v_a$ :

$$N_{a \max} = \frac{Av_a}{L_{\dot{a}}}, \quad (2.6)$$

где  $A$  – коэффициент размерности.

В результате изучения транспортных потоков высокой плотности и специальных экспериментов, проведенных американскими специалистами, была предложена теория "следования за лидером", математическим выражением которой является микроскопическая модель транспортного потока. Микроскопической ее называют потому, что она рассматривает элемент потока – пару следующих друг за другом автомобилей. Особенностью этой модели является то, что в ней отражены закономерности комплекса ВАДС и, в частности, психологический аспект управления автомобилями. Он заключается в том, что при движении в плотном транспортном потоке действия водителя обусловлены изменениями скорости лидирующего (ведущего) автомобиля и дистанции до него в данный момент.

К моделям, рассматривающим поток в целом и называемым макроскопическими, относят, например, модели гидродинамической теории.

Наиболее известны две из них, основанные на использовании аналогии в поведении транспортного потока и потока жидкости. Первая основана на уравнении неразрывности, которое обуславливает постоянство количества жидкости при ее протекании по водостоку, и в обозначениях, принятых для транспортного потока, в результате преобразований и упрощений характеризуется зависимостью:

$$N_a = v_a q_a \ln \frac{q_{a \max}}{q_a}, \quad (2.7)$$

где  $v_a$  – скорость, подлежащая экспериментальному определению;  $q_{a \max}$  – плотность транспортного потока при заторе ( $v_a = 0$ ).

Вторая гидродинамическая модель использует известное из гидравлики понятие о потенциале давления жидкости и предполагает, что движение автомобиля выражается в виде функции некоторого потенциала давления, зависящего от дорожных условий, состояния окружающей среды и психофизиологического состояния водителя.

**Стохастические модели.** Для решения некоторых задач организации дорожно-го движения необходимо располагать стохастическими характеристиками параметров

транспортных потоков в зоне пересечений или на других контролируемых участках дорог. Исследованиями установлено, что для описания потоков сравнительно малой интенсивности, характеризующей вероятность проезда определенного числа транспортных средств через сечение дороги, применимо уравнение (распределение) Пуассона

$$P_i(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n} e^{-\lambda t}, \quad (2.8)$$

где  $P_n(t)$  – вероятность проезда  $n$ -го числа автомобилей за время  $t$ ;  $\lambda$  – основной параметр распределения (интенсивность транспортного потока), авт.с;  $t$  – длительность отрезков наблюдения, с;  $n$  – число наблюдаемых автомобилей.

Движение транспортных средств по дорогам в потоке большой интенсивности и особенно в зоне пересечений может быть рассмотрено на основе теории массового обслуживания. Задачи, решаемые с помощью этой теории, обычно сводятся к определению максимального числа "заявок", а также определению очереди в системе по истечении определенного промежутка времени. Применительно к транспортной задаче это означает возможность определения пропускной способности пересечения, задержек автомобилей и возникающих перед перекрестком очередей. Под "заявкой" понимают появление в сечении дороги одного транспортного средства.

При анализе закономерностей дорожного движения, а также при решении практических задач ОДД возникает необходимость использования взаимозависимостей характеристик транспортного потока. Взаимосвязь интенсивности, скорости и плотности потока на одной полосе дороги графически может быть изображена в виде так называемой основной диаграммы транспортного потока (рисунок 2.5), отражающей зависимость

$$N_a = v_a q_a, \quad (2.9)$$

Основная диаграмма отражает изменение состояния однопольного транспортного потока преимущественно легковых автомобилей в зависимости от увеличения его интенсивности и плотности. Левая часть кривой (показана сплошной линией) отражает устойчивое состояние потока, при котором по мере увеличения плотности транспортный поток проходит фазы свободного, затем частично связанного и наконец связанного движения, достигая точки максимально возможной интенсивности, т. е. про-

пусковой способности (точка  $N_{max} = P_a$  на рисунок 2.5). В процессе этих изменений скорость потока падает – она характеризуется тангенсом угла наклона а радиус-вектора, проведенного от точки 0 к любой точке кривой, характеризующей изменение  $N_a$ . Соответствующие точке  $N_{a\ max} = P_a$  значения плотности и скорости потока считаются оптимальными по пропускной способности ( $q_{a\ опт}$  и  $v_{a\ опт}$ ). При дальнейшем росте плотности (за точкой  $P_a$  перегиба кривой) поток становится неустойчивым (эта ветвь кривой показана прерывистой линией).

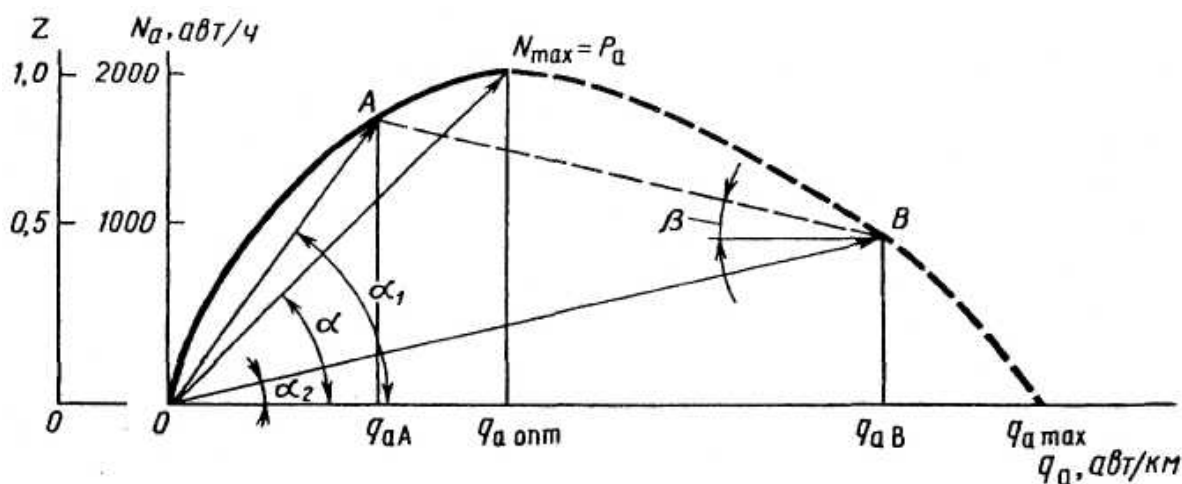


Рисунок 2.5- Основная диаграмма транспортного потока:

$Z$ – Коэффициент (уровень) загрузки

В точках 0 и  $q_{a\ max}$  интенсивность движения  $N_a = 0$ , т. е. соответственно на дороге нет транспортных средств или поток находится в состоянии затора (неподвижности). Радиус-вектор, проведенный из точки 0 в направлении любой точки на кривой (например, А или В), характеризующей  $N_a$ , определяет значение средней скорости потока  $v_a = N_a / q_a = tg\alpha$ .

На графике (рисунок 2.5) показаны для примера две точки, характерные: А – для устойчивого движения транспортного потока; В – для неустойчивого, приближающегося к заторовому состоянию потока. Угол наклона радиус-вектора в первой точке  $a_1 = 60^\circ$  ( $tg\alpha = 1,77$ ), а во второй  $a_2 = 15^\circ$  ( $tg\alpha = 0,26$ ). Скорость в точке В (~9,9 км/ч) меньше, чем в точке А (~ 67 км/ч), в 6,8 раза.

Необходимо, однако, отметить, что основная диаграмма не может отразить всю сложность процессов, происходящих в транспортном потоке, и характеризует его надежно лишь при однородном составе и нормальном состоянии дороги и внешней среды.

## 2.4. Пропускная способность дороги

Важнейшим критерием, характеризующим функционирование путей сообщения, является их пропускная способность. Под пропускной способностью дороги понимают максимально возможное число автомобилей, которое может пройти через сечение дороги за единицу времени.

Однако необходимо отметить, что, рассматривая движение автомобилей и оценивая пределы возможной интенсивности потока, мы характеризуем по существу не дорогу, а комплекс ВАДС. Это объясняется тем, что характеристики транспортных средств и водителя могут оказывать не меньшее влияние на пропускную способность, чем параметры дороги.

Выделяют следующие модификации понятия пропускной способности: теоретическая, номинальная, нормальная, эффективная, собственная, практическая, фактическая и др. Такое многообразие терминов обусловлено различными методическими подходами к определению данного критерия, а также большое число факторов, оказывающих влияние на показатель пропускной способности в реальных условиях дорожного движения. Существуют две принципиально различные оценки пропускной способности: на перегоне и на пересечении дорог в одном уровне. В первом случае транспортный поток при достаточной интенсивности может считаться непрерывным. Характерной особенностью второй оценки являются периодические разрывы потока для пропуска автомобилей по пересекающим направлениям, обусловленные светофорным регулированием.

Наиболее часто из всего многообразия модификаций понятия пропускной способности выделяют: расчетная  $P_p$ , фактическая  $P_f$  и нормативная  $P_n$ .

Расчетную пропускную способность определяют теоретическим путем по различным расчетным формулам. Для этого могут быть использованы математические модели транспортного потока и эмпирические формулы, основанные на обобщении исследовательских данных, кратко рассмотренных ранее.

Определение фактической пропускной способности возможно лишь на действующих дорогах и в сложившихся условиях дорожного движения. Убедительные данные о пропускной способности конкретной дороги могут быть получены путем натурального определения зависимости  $N_a=f(q_a)$  при различных интенсивностях дорожного движения (т. е. практически в различное время суток), построения основной диаграм-

мы транспортного потока и нахождения точки  $P_a$  перегиба кривой. Такое исследование, однако, весьма трудоемко.

Наиболее простым является использование нормативной пропускной способности, которая задается в официальных нормативных документах, например, в Строительных нормах и правилах. Следует, однако, иметь в виду, что при этом не может быть учтен весь комплекс факторов и условий, характеризующих участок дороги. Поэтому ее значения для многих конкретных условий являются заниженными, а для некоторых завышенными. Для оценки на реальных дорогах (или отдельных полосах проезжей части) имеющегося запаса пропускной способности используется коэффициент  $Z$ , равный отношению существующей интенсивности движения  $N_\phi$  к пропускной способности  $P_\phi$ :

$$Z = N_\phi / P_\phi. \quad (2.10)$$

Этот коэффициент также называют уровнем загрузки дороги (полосы) транспортным потоком. Примерное значение  $Z$  может быть определено экспресс-методом часового наблюдения на элементе УДС в пиковый период движения без затора. В течение часа по 6-минутным отрезкам времени  $t_6$  фиксируется интенсивность движения. Диаграмма на рисунке 2.6 иллюстрирует полученные данные на одной полосе правоповоротного (нерегулируемого) потока. По наибольшей интенсивности ( $N_{a2} = 100$  авт/ч) определяется фактическая пропускная способность участка, как  $100 \cdot 10 = 1000$  авт/ч. Фактическая интенсивность равна сумме интенсивности за 10 отрезков времени:  $\sum iN_\delta = 870$  авт/ч. Отсюда  $Z = 870/1000 = 0,87$ . Следовательно, данный участок работает на пределе допустимого.

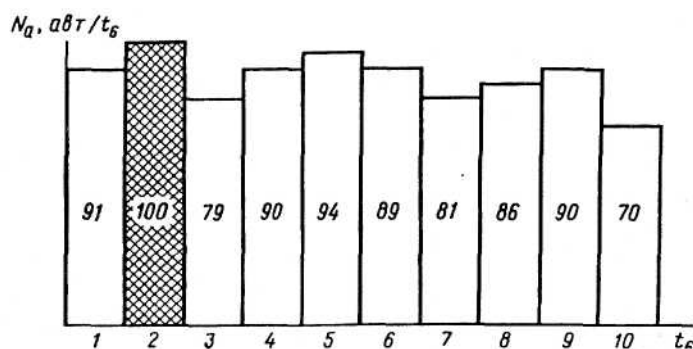


Рисунок 2.6- Диаграмма интенсивности однородного потока, полученная при определении коэффициента загрузки  $Z$  (по 6-минутным отрезкам времени)



Для определения пропускной способности (теоретической) используют различные математические модели.

При расчете фактической пропускной способности реальной дороги можно воспользоваться системой поправочных коэффициентов, учитывающих эксплуатационные условия. Такой метод применяется американскими специалистами. В общем виде формула для расчета по этой методике имеет вид:

$$P_p = P_T k_1 k_2 \dots k_n, \quad (2.11)$$

где  $P_T$  – расчетная пропускная способность при идеальных условиях (теоретическая);  $k_1, k_2, \dots, k_n$  – коэффициенты, учитывающие условия движения (ширину полосы движения, состав потока автомобилей, величину и протяженность подъемов, наличие пересечений и т. д.).

Исследования на многополосных дорогах показали, что их пропускная способность увеличивается не строго пропорционально числу полос. Это явление объясняется тем, что на многополосной дороге при наличии пересечений в одном уровне автомобили маневрируют для поворотов налево и направо, разворотов на пересечениях, подъезда к краю проезжей части для остановки. При расчете пропускной способности многополосной дороги  $P_{\text{мн}}$  это явление необходимо учитывать коэффициентом многополосности  $K_{\text{мн}}$ . Пропускную способность  $P_{\text{мн}}$  рекомендуется определять умножением значения  $P_{\text{п}}$  на коэффициент многополосности, который принимается для 2-полосной дороги одного направления 1,9, для 3-полосной – 2,7, а для 4-полосной – 3,5.

При наличии на дороге пересечений в одном уровне на перекрестках с интенсивным движением приходится прерывать потоки транспортных средств для пропуска их по пересекающим направлениям с помощью светофорного или ручного регулирования. В этом случае для движения транспортного потока данного направления через перекресток используется лишь часть расчетного времени, так как остальная часть отводится для пересекающего потока

## 2.5. Улично-дорожная сеть

Планировочные особенности и геометрические параметры путей сообщения оказывают решающее влияние на характеристики транспортных и пешеходных потоков и общее состояние дорожного движения в городе или регионе.

В нашей стране характеристики внегородских дорог определяются СП

34.13330.2012 «Автомобильные дороги», а характеристики городских путей сообщения – СП 42.13330.2011 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.

Геометрические схемы построения УДС оказывают существенное влияние на основные показатели дорожного движения, возможности организации пассажирских сообщений и на сложность задач организации движения. Известны следующие геометрические схемы УДС: радиальная, радиально-кольцевая, прямоугольная, прямоугольно-диагональная и смешанная (рисунок 2.7)..

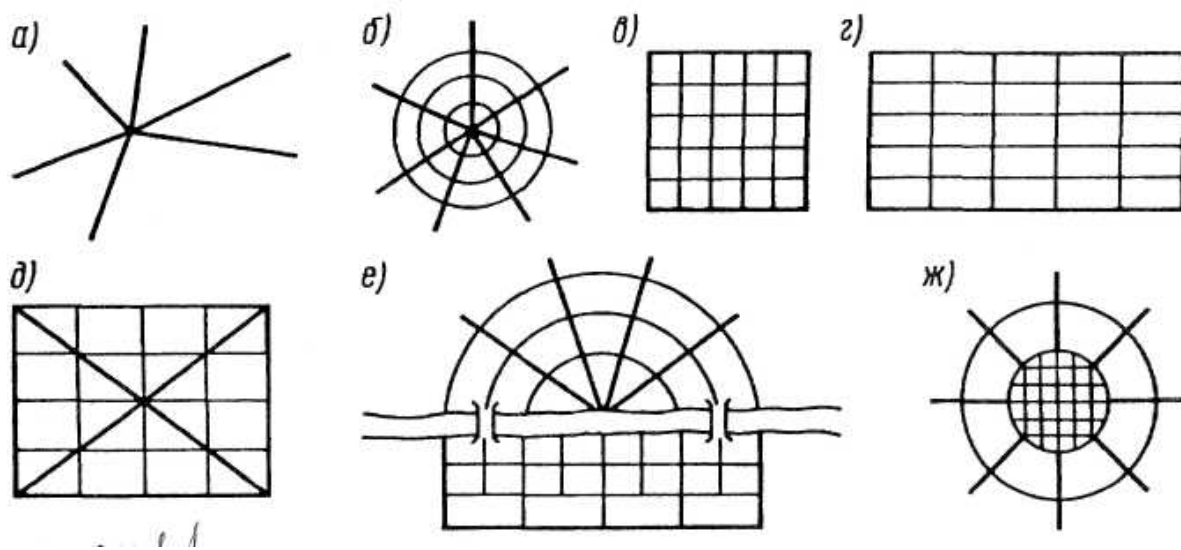


Рисунок 2.7- Геометрические схемы УДС:

*a* – радиальная; *б* – радиально-кольцевая; *в*, *г* – прямоугольные; *д* – прямоугольно-диагональная; *е*, *ж* – смешанные

Планировочные параметры УДС регламентируются – СП 42.13330.2011 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Однако исследования и опыт проектирования показывают, что имеющиеся нормативы не полностью отвечают современным требованиям и по ряду позиций нуждаются в корректировке. Это, в частности, относится и к классификации дорог, которая в настоящее время имеет по крайней мере четыре разновидности: по административной принадлежности, функциональному назначению, технической характеристике и смешанным функционально-техническим характеристикам.