

Лекция №1

Загальні положення. Поняття транспортного потоку. Параметри, змінні та характеристики транспортного потоку..

1 Понятие транспортного потока и управления дорожным движением.

Транспортный поток – совокупность движущихся автомобилей по дороге.

Безопасность дорожного движения – характеристика, выражаемая аварийностью.

*Система, позволяющая осуществлять круглосуточный контроль за состоянием движения в крупномасштабных дорожных сетях с целью выбора приемлемых стратегий управления, основанных на получаемой почти в реальном масштабе времени, информации, и управления движением транспортных потоков в соответствии с выбранными стратегическими концепциями, называется **системой управления дорожным движением**.*

Внедрение системы управления дорожным движением связано с созданием технических средств сбора информации о параметрах транспортных потоков в множестве точек дорожной сети, передачей собранной информации в центр управления, обработкой собранной информации с целью выбора управляющих воздействий и средств для передачи этих воздействий к светофорам с целью переключения их сигналов и информирования водителей о доступности альтернативных маршрутов или наличии зависимых от времени суток регулирующих воздействий, и, наконец, созданием средств связи с оперативным персоналом службы управления движением, находящимися на сети дорог.

Выполнение всех этих функций детектирования, передачи и обработки информации вручную, конечно, невозможно, поскольку дорожные сети чрезмерно велики и сложны. К системе управления предъявляются требования

быстрой реакции и высокой надежности, вследствие чего появилась необходимость ее создания на полностью электронной основе.

Другими словами, управление дорожным движением является процессом, реализуемым большой системой управления, работающей в реальном масштабе времени и включающей в себя центральные управляющие ЭВМ и периферийные устройства, связанные с ЭВМ посредством каналов передачи информации.

После создания в 1963 г. большой системы управления движением в г. Торонто (Канада), включающей в себя ЭВМ, подобные автоматизированные системы с применением ЭВМ появились в 1965—1969 гг. во многих городах, включая Токио, Мюнхен, Лондон, Мадрид и Нью-Йорк, и управляют движением в их крупных районах. В Японии в центре Токио в 1970 г. была создана новая система управления, основанная на сложных управляющих стратегиях, а после этого был разработан и реализуется во всех крупнейших городах.

Управление транспортными потоками – влияние с помощью технических средств на скорость, плотность и траекторию транспортного потока с целью обеспечения максимальной интенсивности движения.

2 Системный подход к анализу транспортного потока

Система – по-гречески – целое, составленное из частей соединение, это совокупность взаимосвязанных объектов, процессов, объединенных единой целью и общим алгоритмом функционирования.

Система — это набор объектов, включающий взаимосвязи между объектами и их признаками.

В рамках системы ВАДС под объектами можно понимать элементы движения: автомобиль, водитель, дорога. Признаки — это свойства

указанных объектов или элементов. К признакам относятся: зрение водителя и его время реакции, скорость автомобиля, ее приемистость и интервал между автомобилями, ширина улицы и средства регулирования движения и т.д.

Единая **цель** указанного объединения в виде системы ВАДС состоит в мотивации водителя, обеспечивающей безопасность движения и экономию времени и расстояния. Взаимосвязи отражают взаимодействие транспортных средств друг с другом и с окружающей средой, под которой понимают дорогу, улицу или дорожно-транспортную сеть в целом.

Определение **целей дорожной системы** — это одна из наиболее трудных задач, стоящих перед специалистом по планированию автомобильных перевозок, проектировщиком геометрических элементов дороги и инженером по организации движения.

В рамках **системного подхода** для проведения синтеза и анализа необходимо построить модель, которая связывала бы топологические свойства системы с ее входами и выходами.

Анализ — это разделение системы на компоненты для рассмотрения их следствий с точки зрения целей.

Синтез предполагает соединение частей в целое; обычно его осуществляют путем экстраполяции или интерполяции существующих методов и результатов для достижения определенных целей, которые в свою очередь подвергают анализу.

Система «Транспортный поток – дорожные условия»:

- транспортный поток – совокупность автомобилей, движущихся по дороге;
- дорожные условия – совокупность геометрических характеристик дороги.

Таким образом, система **«Транспортный поток – дорожные условия»** представляет собой совокупность автомобилей, движущихся по геометрически определенному участку дороги.

Система «Транспортный поток условия движения»:

- условия движения – совокупность дорожных условий и всех остальных внешних условий, оказывающих воздействие на движение автомобилей.

Таким образом, система «Транспортный поток – условия движения» представляет собой совокупность автомобилей, движущихся по геометрически определенному участку дороги под воздействием всех остальных внешних условий.

3 Основные характеристики транспортного потока

Транспортные потоки, фактически представляют собой последовательности дискретных событий, состоящих в появлении автомобилей, хотя существует много теорий, где транспортный поток рассматривается как непрерывный процесс.

Анализ размерностей показывает, что между скоростью движения, расстоянием и интервалом времени между последовательными автомобилями существует соотношение

$$\text{Скорость, м/сек} = \frac{\text{Расстояние между автомобилями, м}}{\text{Интервал времени между автомобилями, сек}} .$$

Между скоростью, плотностью и интенсивностью потока существует следующая зависимость:

$$\text{Скорость, м/сек} = \frac{\text{Интенсивность, сек}^{-1}}{\text{Плотность, м}^{-1}} .$$

Общее уравнение транспортного потока обычно выражается в виде:

$$q = ku,$$

где q — средняя интенсивность потока; u — средняя скорость; k —

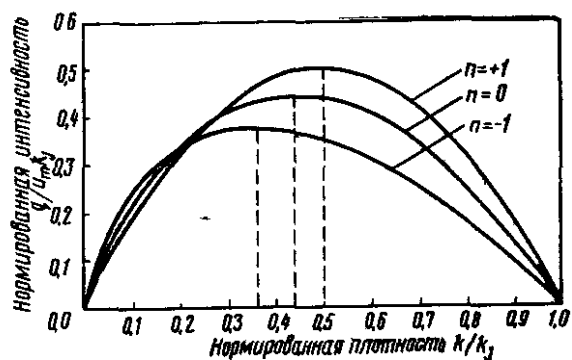
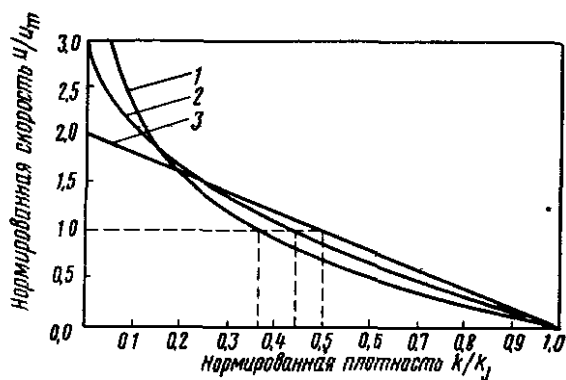
средняя плотность.

Если известны любые две из этих трех переменных, характеризующих транспортный поток, то третья переменная определяется однозначно.

Переменной, которую легче всего определить, является интенсивность, а затем, по-видимому, скорость. Не удивительно поэтому, что плотность обычно рассматривается как зависимая переменная, поскольку две другие являются измеримыми или независимыми переменными.

При рассмотрении основного уравнения транспортного потока целесообразно рассмотреть поверхность, образуемую при графическом построении уравнения на взаимно перпендикулярных осях. Попытки связать различные пары этих трех основных элементов, основаны на применении следующих методов:

построение кривой по точкам; вывод на основе граничных условий;
применение физических аналогий.



Решение обобщенного уравнения движения транспортного потока:

1 — линейная модель; 2 — параболическая модель; 3 — экспоненциальная модель.

Лекция №2

Закономірності руху транспортного потоку по одній смузі магістральної дороги.

1 Зависимость скорости и плотности транспортного потока на одной полосе магистрального движения

Плотность является одной из основных характеристик транспортного потока. Этим показателем удобно характеризовать состояние потока автомобилей на отдельных участках дороги или на всем ее протяжении.

Влияние плотности на скорость движения было впервые отмечено Гриншилльдсом:

$$v = a - bq,$$

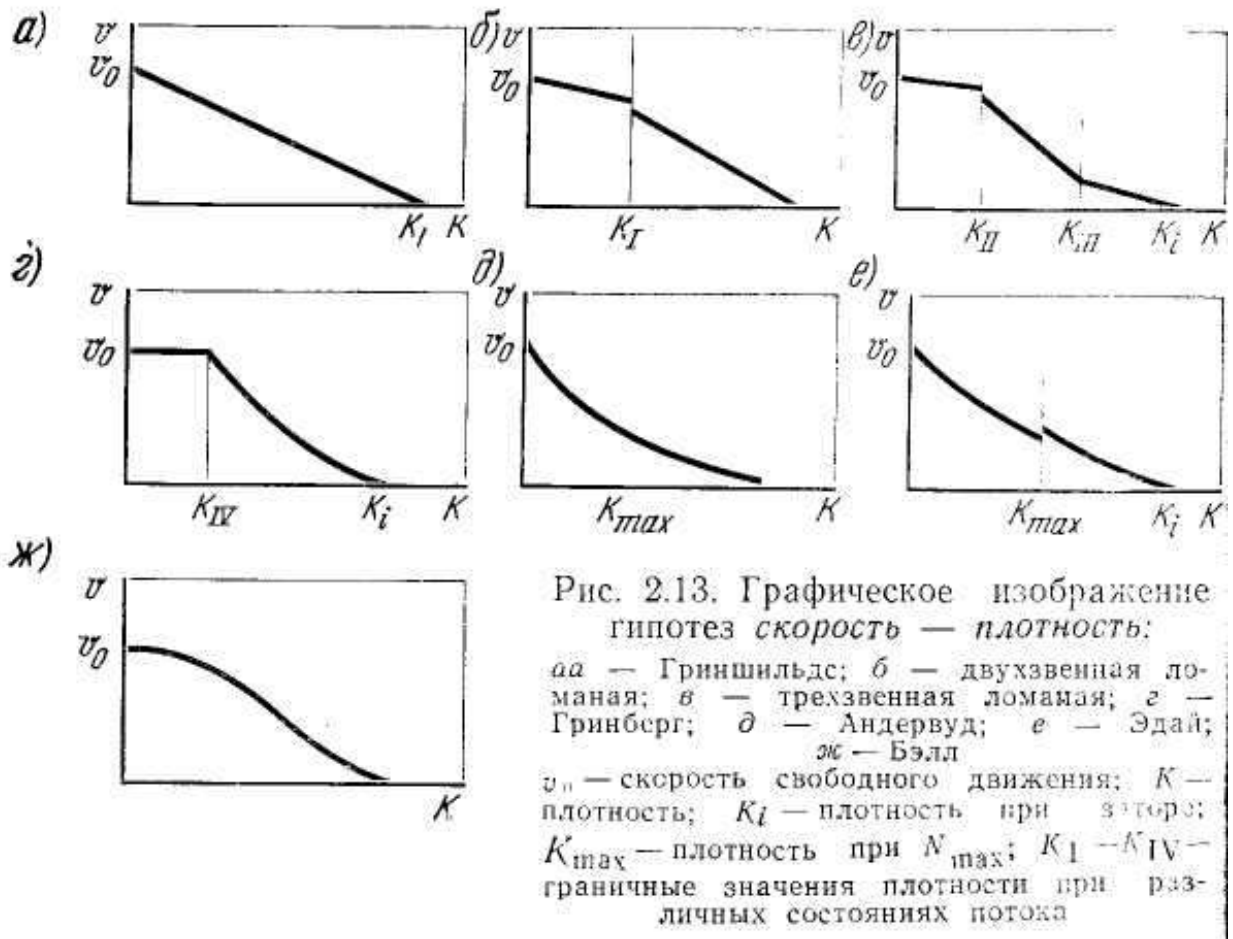
где a и b — постоянные коэффициенты.

Аналогичный характер зависимости скорость — плотность был получен и рядом зарубежных исследователей.

*Для отечественных условий применительно к двухполосным автомобильным дорогам зависимости скорости движения от плотности были установлены, они также носят **прямолинейный** характер.*

Кроме того, установлено, что зависимость скорости от плотности движения на четырехполосной дороге:

$$v = 85 - 1,41q + 0,0052 q^2;$$



Американские исследователи проверили применимость различных уравнений для описания транспортного потока при всех встречающихся дорожных условиях, используя современные методы математической статистики.

Возможность предсказывать по каждому уравнению среднюю свободную скорость на данном участке была проверена путем сравнения полученных из уравнений средних скоростей свободного движения, определенных из 16 выборок по 100 автомобилей в каждой, при средней плотности движения по одной полосе менее 6 авт/км.

Все уравнения, за исключением уравнения Гриншильдса, оказались непригодными для предсказания скорости свободного движения.

Чтобы проверить соответствие предлагавшихся уравнений отечественным условиям, автором были проведены наблюдения за режимами потоков автомобилей на прямых горизонтальных участках четырех- и

шестиполосных дорог с горизонтальной разметкой полос движения.

Для того чтобы установить закономерности снижения скорости с увеличением плотности, определял средние скорости автомобилей при различных плотностях движения в одном направлении. Наблюдения проводили при помощи киносъемки.

В результате обработки данных наблюдений получена зависимость скорости транспортного потока, состоящего преимущественно из легковых автомобилей, от плотности движения для многополосных автомобильных дорог

$$v_i = \frac{v_0}{(q_i/a)^3 + 1} e^{-\frac{1}{2}(q_i/q_{\max} n)^2},$$

где v_0 — скорость свободного движения, км/ч; q_i — плотность транспортного потока на каком-либо элементе дороги в рассматриваемый момент времени, авт/км; q_{\max} — максимальная плотность транспортного потока на одной полосе движения, авт/км; a — постоянная, зависящая от числа полос движения (для четырехполосных дорог $a = 90$, для шестиполосных $a = 135$); n — число полос движения в одном направлении.

Сравнение полученной зависимости с зависимостями, приведенными на рис., показывает, что зависимость скорости от плотности движения для многополосных дорог совпадает по характеру с зависимостью Бэлла (рис. ж). При возрастании плотности движения в одном направлении скорость существенно снижается.

Экспериментальные данные, характеризующие зависимость скорости движения от плотности транспортных потоков, свидетельствуют, что во всем диапазоне наблюдаемых плотностей строго линейный характер зависимости не наблюдается.

Линейная модель приемлема лишь для центральной части кривой: для четырехполосных дорог при плотности движения 50—110 авт/км, для шестиполосных 72—160 авт/км. При плотностях движения менее и более указанных приемлема нелинейная модель, которая учитывала бы кривизну. Полученные зависимости позволили установить границы отдельных состояний транспортных потоков на четырех- и шестиполосных дорогах (табл.).

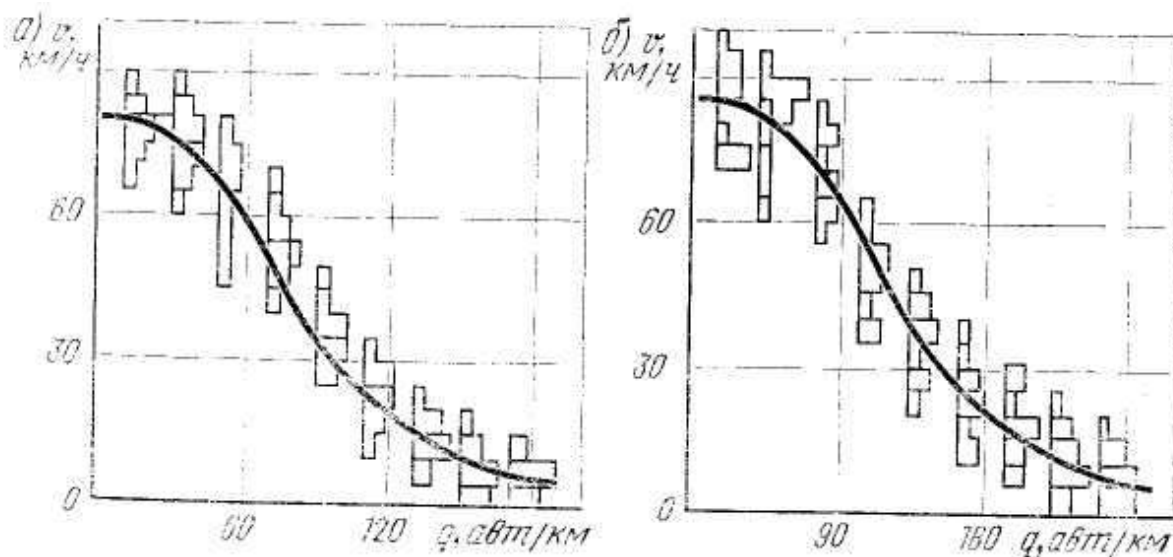


Рис. 2.14. Зависимость скорости транспортного потока от плотности:
а — четырехполосные дороги; б — шестиполосные дороги

Число полос движения	Характеристики транспортного потока	Граничные значения при состоянии транспортного потока				
		I	II	III	IV	V
Четыре	Плотность, авт/км	0—22	22—50	50—110	110—140	140—200
	Скорость, км/ч	78—80	64—78	28—64	12—28	5—12
Шесть	Плотность, авт/км	0—36	36—72	72—160	160—210	210—300
	Скорость, км/ч	83—85	73—83	31—73	14—31	4—14

Граничные значения скорости движения и плотности транспортного потока получены на основе анализа их корреляционных зависимостей, дающих хорошую сходимость между теоретическим и фактическим распределениями в соответствующих диапазонах плотностей движения транспортных средств.

2 Закономерности изменения временных и пространственных интервалов между автомобилями в потоке.

Продольное расположение автомобилей на проезжей части можно охарактеризовать временным интервалом между двумя последовательными прохождениями автомобилей через данную точку дороги и пространственным интервалом или дистанцией l между последовательными автомобилями:

$$l = Ctv,$$

где l — средняя дистанция, м; t — средний временной интервал, с; v — средняя скорость, км/ч; C — константа.

Закономерности изменения интервалов между автомобилями на дорогах с многополосной проезжей частью имеют важное значение при решении задач, связанных с оценкой пропускной способности многополосных дорог, определением границ уровней загрузки движением и границ применимости различных теорий транспортного потока.

В подавляющем большинстве исследования были направлены на то, чтобы установить закономерности изменения этих интервалов для двухполосных автомобильных дорог.

Распределение временных интервалов. На автомобильных дорогах с многополосной проезжей частью основное влияние на распределение временных интервалов оказывают число полос движения, интенсивность и состав транспортного потока.

На рис. показано **фактическое распределение интервалов** на шестиполосных дорогах, полученное при различных интенсивностях движения в одном направлении и примерно одинаковом составе потока.

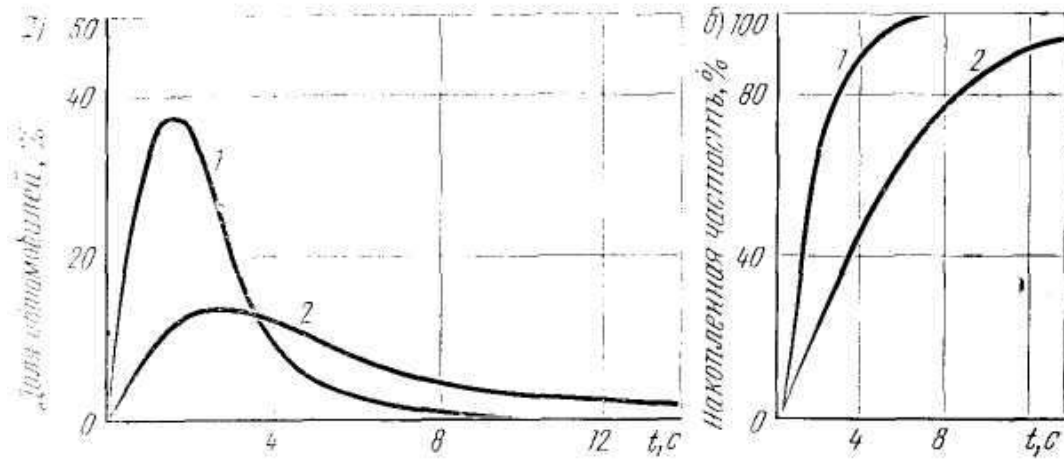


Рис. 2.7. Распределение временных интервалов на шестиполосных автомобильных дорогах:
 а — кривые распределения; б — кумулятивные кривые; 1 — $N = 2580$ авт/ч; 2 — $N = 879$ авт/ч

Повышение интенсивности движения приводит к увеличению временных интервалов продолжительностью менее 4,0 с. На шестиполосных дорогах при низкой интенсивности движения 36% всех интервалов менее 3 с. Аналогичная картина наблюдается и на четырехполосных дорогах, только в случае низких интенсивностей движения число интервалов менее 3 с несколько выше и составляет 42%.

Увеличение интенсивности движения приблизительно в 2 раза приводит к резкому увеличению интервалов менее 3 с — до 81%.

Чтобы выяснить влияние интенсивности движения в одном направлении на распределение временных интервалов сравнивались частоты появления различных по длительности интервалов между автомобилями на многополосных дорогах (рис.).

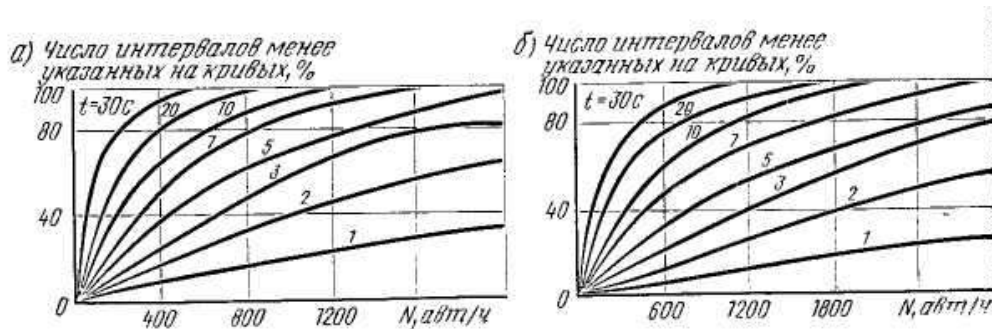


Рис. 2.8. Распределение временных интервалов на горизонтальных участках многополосных дорог при различных интенсивностях движения (40—55% легковых автомобилей в потоке):
 а — четырехполосные дороги; б — шестиполосные дороги

С повышением интенсивности движения вероятность появления больших интервалов между автомобилями уменьшается. Если на шестиполосных дорогах при интенсивности движения в одном направлении 900 авт/ч количество интервалов более 10 с составляет 23%, то при увеличении интенсивности движения до 2100 авт/ч количество их уменьшается до 3%.

Необходимо отметить, что при одинаковой загрузке полосы движения многополосных дорог и увеличении интенсивности движения в одном направлении вероятность появления интервалов определенной длительности на четырехполосных дорогах всегда больше, чем на шестиполосных. Значит на четырехполосных дорогах для маневрирования автомобилей складываются худшие условия, чем на шестиполосных.

Анализ фактических распределений временных интервалов для каждой полосы четырех- и шестиполосных дорог показывает, что модальное значение интервалов при перемещении от крайней правой полосы к крайней левой смещается в область меньших интервалов.

Это объясняется изменением состава транспортного потока на полосах и условиями движения, складывающимися на каждой из полос. *Из наблюдавшихся фактических распределений интервалов следует, что **каждая полоса характеризуется своим собственным распределением.***

Так, например, средняя длительность интервала на правой полосе четырехполосной дороги при 30% легковых автомобилей в потоке составляет 4,65 с, а на левой полосе при 95% легковых автомобилей в потоке — 3,29 с. Короткие интервалы менее 1,0 с на правой полосе составляют 5%, на левой 15%- Такие интервалы характерны для интенсивности движения в одном направлении около 1200 авт/ч.

*На **распределение** временных интервалов определенное влияние оказывает **состав потока.** Наблюдения показывают, что увеличение в составе потока легковых автомобилей приводит к увеличению числа интервалов менее 4,0 с (рис.).*

Лекция №3,4

Закономірності руху транспортного потоку по декільком смугам магістральної дороги та по сусіднім смугам.

1 Распределение пространственных интервалов между автомобилями для нескольких полос движения

Наблюдения за распределением пространственных интервалов проводились при помощи кинесъемки на прямых горизонтальных участках четырех- и шестиполосных дорог.

Интенсивность движения в одном направлении в период съемок составляла 400—1600 авт/ч на четырехполосных дорогах и 500—2800 авт/ч на шестиполосных. В результате обработки материалов наблюдений были измерены скорости и соответствующие им пространственные интервалы для 980 взаимодействующих автомобилей на шестиполосных автомобильных дорогах и для 720 на четырехполосных.

При этом интервал измерялся от переднего бампера впереди идущего автомобиля до переднего бампера следующего за ним автомобиля.



Рис. 2.9. Распределение временных интервалов при различном составе движения ($N = 3100$ авт/ч на трехполосной проезжей части):

1 — 75 % легковых автомобилей;
2 — 45 % легковых автомобилей

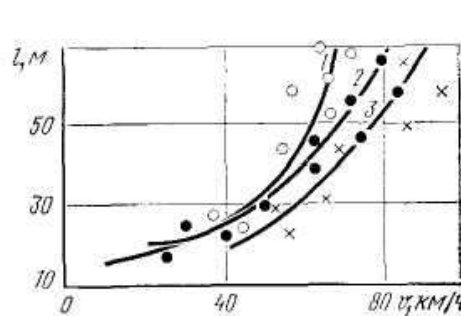


Рис. 2.10. Зависимость пространственных интервалов между автомобилями от их скорости на шестиполосной дороге:

1 — крайняя правая полоса (5 % легковых автомобилей в потоке);
2 — средняя полоса (45 % легковых автомобилей в потоке); 3 — крайняя левая полоса (95 % легковых автомобилей в потоке)

Отметим, что наличие взаимодействия автомобилей определялось с учетом данных наблюдений отечественных и зарубежных исследователей. К настоящему времени проведено много исследований по определению взаимодействия автомобилей в транспортном потоке на двухполосных автомобильных дорогах.

Аналогичные исследования для дорог с четырехполосной проезжей частью были проведены в незначительном объеме.

Существует зависимость пространственных интервалов от скорости движения (рис.). *Кривая построена для практически однородного транспортного потока, состоящего преимущественно из грузовых автомобилей, кривая 3 — преимущественно из легковых автомобилей. Сравнение этих кривых показывает, что при скоростях до 50 км/ч пространственный интервал на крайней правой полосе больше интервала на крайней левой полосе на 5—9 м. При скоростях более 50 км/ч разность интервалов резко возрастает.*

Кривая 2 подобна кривой 3. Ее характер зависит от состава транспортного потока в одном направлении. В то же время изменение состава транспортного потока отражается также на зависимости пространственного интервала от скорости и для крайних полос. Но здесь это проявляется в меньшей степени, чем на средней полосе. *Ввиду того, что на средней полосе шестиполосных дорог большую часть времени транспортный поток смешанный, было изучено взаимодействие разнотипных автомобилей на этой полосе (рис. 2.11,й).*

Зависимость пространственного интервала от скорости для грузового автомобиля, следующего за грузовым, подобна такой же зависимости для крайней правой полосы, а зависимость пространственного интервала от скорости для легкового автомобиля, следующего за легковым, подобна такой же зависимости для крайней левой полосы.

Исследование взаимодействия разнотипных автомобилей на четырехполосных дорогах показало, что зависимости интервала от скорости

для четырех комбинаций следующих друг за другом автомобилей подобны аналогичным зависимостям для шестиполосных дорог (рис.). Все это приводит к выводу, что размеры пространственных интервалов на четырех- и шестиполосных автомобильных дорогах, соответствующих одной и той же скорости движения, незначительно отличаются друг от друга.

Однако сравнение зависимостей между пространственными интервалами в транспортном потоке от скорости для четырех комбинаций автомобилей, полученных автором для четырех- и шестиполосных дорог, с аналогичными зависимостями для двухполосных загородных автомобильных дорог показывает, что в диапазоне скоростей 20—70 км/ч пространственные интервалы на дорогах с многополосной проезжей частью **меньше**, чем на двухполосных.

Причем наиболее существенная разница в этих интервалах проявляется при скоростях движения более 45 км/ч. При скорости движения 60 км/ч дистанция между легковыми автомобилями на двухполосных автомобильных дорогах составляет 40 м, на многополосных 32—34 м.

На рис. кривые 2 и 3, иллюстрирующие зависимость пространственного интервала от скорости на четырех- и шестиполосных дорогах, подобны кривой /, характеризующей эту зависимость на двухполосных автомобильных дорогах. В диапазоне скоростей 20—80 км/ч пространственный интервал между автомобилями на многополосных автомобильных дорогах меньше интервала на двухполосных дорогах.

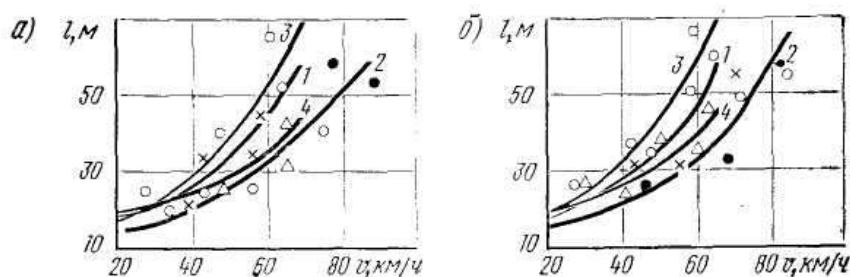
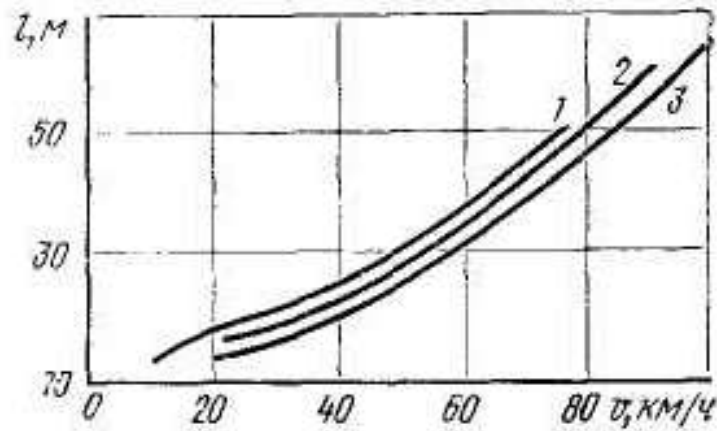


Рис. 2.11. Зависимость пространственных интервалов между автомобилями от скорости:

а — для средней полосы шестиполосной дороги; б — для одной полосы четырехполосной дороги; 1 — грузовой за грузовым; 2 — легковой за легковым; 3 — грузовой за легковым; 4 — легковой за грузовым

Сравнение пространственных интервалов между автомобилями на четырех- и шестиполосных дорогах показывает, что для шестиполосных дорог **интервалы** на 1,5—3,0 м **меньше**, чем на четырехполосных.



Это объясняется тем, что при движении автомобилей в смешанном потоке на шестиполосных дорогах **имеются лучшие возможности для распределения автомобилей по ширине проезжей части** в соответствии с их динамическими качествами.

2 Зависимости между основными характеристиками транспортных потоков на нескольких полосах движения

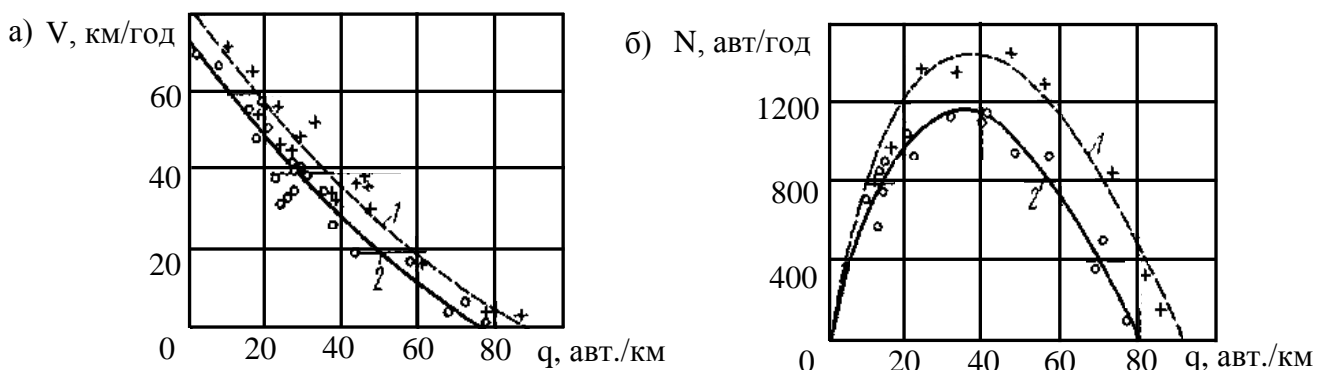


Рис. Основные зависимости для транспортного потока на четырехполосной автомагистрали: а) скорость – плотность, б) интенсивность – плотность, 1 – левая полоса, 2 – правая полоса.

Если интенсивность движения достигает значения пропускной способности узкого места, то скорость движения не зависит от геометрических характеристик участка дороги, расположенного выше узкого места.

Поскольку продолжительность перегрузки может значительно превышать интервал, в котором транспортная нагрузка превышает пропускную способность, важно принимать меры по предупреждению перегрузок.

Для изучения соотношения между интенсивностью потока и длительностью задержки предлагается использовать нижний график, изображенный на рисунке.

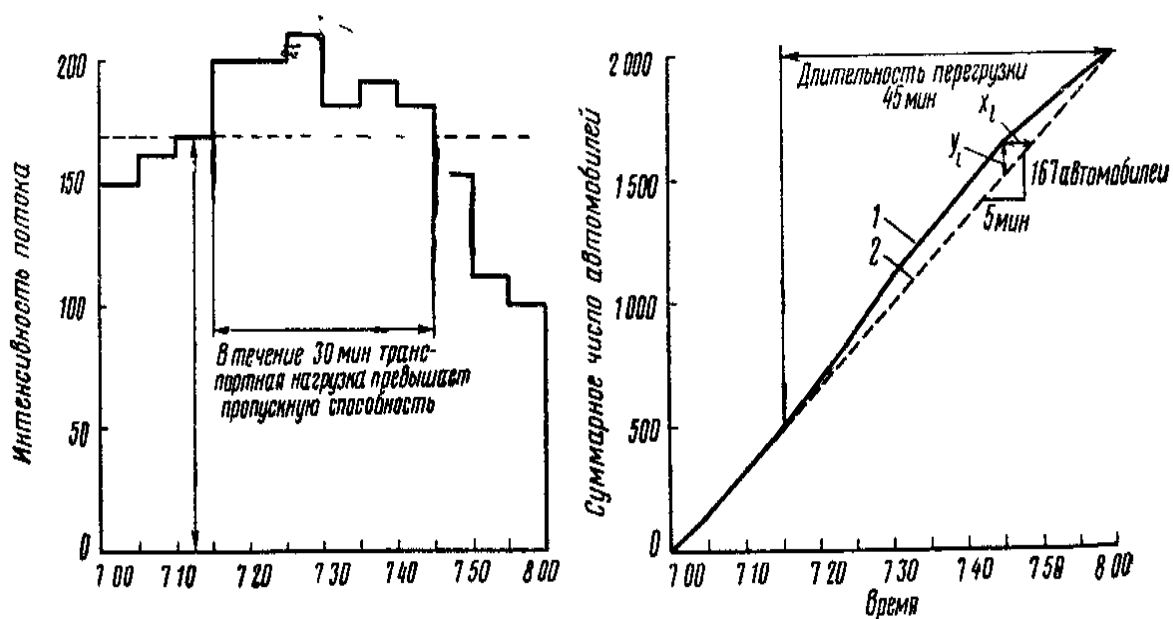


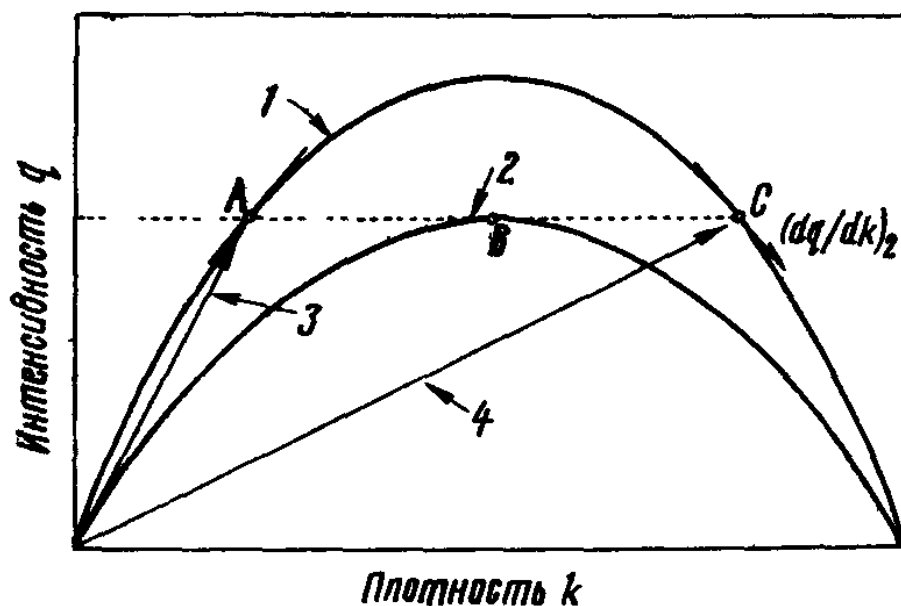
Рисунок Соотношение между транспортной нагрузкой, пропускной способностью и перегрузкой:

1 — транспортная нагрузка; 2 — пропускная способность.

Преимущество этого графика состоит в том, что он изображает интенсивность потока в виде кривой, зависящей от времени, а не в виде точки, не связанной со временем.

С теорией транспортных волн тесно связано такое понятие как **узкое место**, т. е. **участок дороги**, на котором **пропускная способность меньше**, чем на **последующем участке** дороги. Верхняя кривая на рисунке, показывающая зависимость плотности от интенсивности, относится к участку дороги, расположенному впереди узкого места, а нижняя относится к узкому месту.

Если **интенсивность потока достигает значения пропускной способности узкого места**, то **скорость движения в узком месте становится значительно меньше**, чем на последующем участке дороги. При дальнейшем увеличении интенсивности потока перед узким местом возникает очередь автомобилей и условия движения на этом участке смещаются из точки *A* в точку *C*.



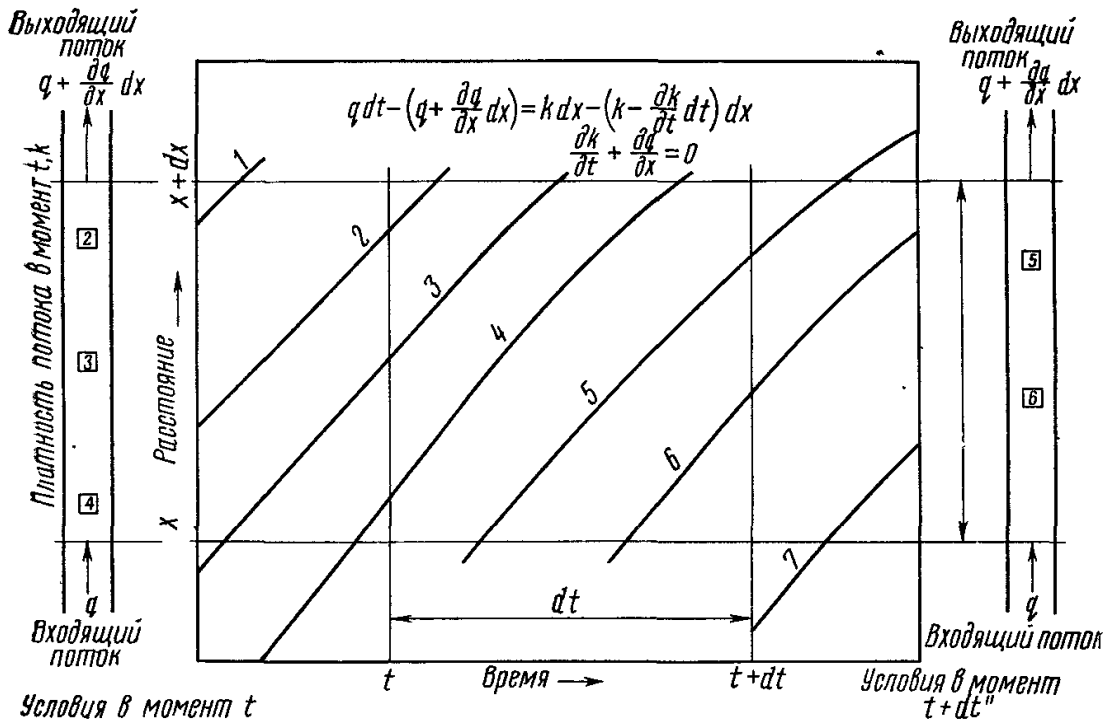
... 3 — скорость автомобилей при приближении к узкому месту; 4 — скорость автомобилей в узком месте.

Анализ потоков основывается на предполагаемом соотношении между интенсивностью и плотностью и на дифференциальном уравнении в частных производных, выражающем закон сохранения вещества.

Наряду с другими принципами механика жидкостей основана на законе сохранения массы. Выделим мысленно в пространстве некоторый объем. Если

расход массы превышает поступившее количество, то согласно закону сохранения массы необходимо, чтобы имело место эквивалентное уменьшение массы, заключенной в данном объеме.

Этот принцип можно выразить математически в виде уравнения, называемого уравнением сохранения.



Вывод уравнения непрерывности для транспортного потока. Закон сохранения числа автомобилей: (число входящих автомобилей) — (число выходящих автомобилей) = (изменение числа автомобилей)

Если рассматривать транспортный поток как консервативную систему, то изменение числа автомобилей на участке дороги в интервале времени должно равняться разности между числом автомобилей въезжающих на данный участок, и числом автомобилей, покидающих его. Символически закон сохранения числа автомобилей можно выразить как

$$k dx - \left(k - \frac{\partial k}{\partial t} dt \right) dx = q dt - \left(q + \frac{\partial q}{\partial x} dx \right) dt.$$

Используя основные соотношения потока, получаем следующее уравнение непрерывности для транспортного потока:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial (ku)}{\partial x} = 0.$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{u \partial k}{\partial x} + \frac{k \partial u}{\partial x} = 0.$$

В теории транспортных потоков установлено, что скорость движения изменяется обратно пропорционально плотности потока $u = f(k)$. Тогда

$$\frac{\partial u}{\partial k} = \frac{\partial u}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial k} = \frac{du}{dk} = u'.$$

Уравнение непрерывности для транспортного потока на дороге с односторонним движением:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + (u + k u') \frac{\partial k}{\partial x} = 0.$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{\partial u}{\partial t} \cdot \frac{dt}{dt},$$

В итоге уравнение принимает вид

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \left(u + \frac{c^2 k^n}{u'} \right) \frac{\partial k}{\partial x} = 0.$$

Получено общее уравнение движения $(u')^2 = c^2 k^{(n-1)}$.

Наконец, вследствие пропорциональной обратной зависимости между скоростью и плотностью получаем

$$u' = -c k^{\frac{(n-1)}{2}}.$$

$$u = \frac{-2c}{n+1} k^{\frac{(n+1)}{2}} + C_1,$$

Поскольку при максимальной плотности k , движение невозможно, то

$$C_1 = \frac{2c}{n+1} k_j^{\frac{(n+1)}{2}}, \quad n > -1$$

$$u = \frac{2c}{n+1} \left[k_j^{\frac{(n+1)}{2}} - k^{\frac{(n+1)}{2}} \right], \quad n > -1.$$

Аналогично предполагается, что водитель может ехать со скоростью свободного движения только в том случае, если на дороге нет других автомобилей. Таким образом,

$$u_f = \frac{2c}{n+1} k_j^{\frac{(n+1)}{2}}, \quad n > -1,$$

Подставляя выражения в уравнение, получаем обобщенные уравнения состояния

$$u = u_f \left[1 - \left(\frac{k}{k_j} \right)^{\frac{(n+1)}{2}} \right], \quad n > -1;$$

$$q = ku = ku_f \left[1 - \left(\frac{k}{k_j} \right)^{\frac{(n+1)}{2}} \right], \quad n > -1.$$

Оптимальная плотность, при которой интенсивность потока автомобилей максимальна

$$\frac{dq}{dk} = \left[1 - \frac{n+3}{2} \left(\frac{k}{k_j} \right)^{\frac{(n+1)}{2}} \right] u_f = 0;$$

$$k_m = \left(\frac{n+3}{2} \right)^{-\frac{2}{(n+1)}} k_j, \quad n > -1.$$

Оптимальную скорость

$$u_m = \frac{n+1}{n+3} u_f, \quad n > -1.$$

Пропускная способность находится как произведение предыдущих выражений

$$q_m = \left[\frac{n+1}{\left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{2}{(n+1)}} (n+3) \left[\frac{2}{(n+1)} \right] + 1} \right] u_f k_j, \quad n > -1.$$

Лекция №5,6

Безпека руху транспортного потоку по одній та декільком смугам магістральної дороги.

1 Общие тенденции изменения безопасности движения транспортного потока на полосах движения

Сейчас европейская транспортная политика среди основных задач предусматривает решения реализации комплекса мероприятий из повышения безопасности транспорта и в первую очередь – безопасности дорожного движения (БД). В Европе до сих пор не разрешимые главные проблемы БД. Наибольшую угрозу БД составляет чрезмерная и неадекватная условиям движения скорость.

Первым рассмотрим влияние интенсивности движения на участках автомагистралей на показатели аварийности. Соответственно технической классификации автомобильных дорог расчетная интенсивность движения для категорий дорог I_a и I_b составляет свыше 10000 авт./сут.

Часовая интенсивность движения для дорог I категории – свыше 3000 ед./ч. На автомагистралях с распределением движения за направлениями зависимости показателей аварийности от интенсивности движения указанные на рис. 1, 2.

***Основной вид ДТП при низких интенсивностях, до 10...15 тыс. авт./доб.** - перебрасывания автомобилей или **наезды на препятствия** при съездах из дороги, которые связанные с неожиданным для водителя изменением направления движения автомобиля, то есть ДТП через потерю водителем **управляемости** транспортного средства.*

Рост аварийности при увеличении интенсивности движения более 10-15 тыс. авт./сут. связанный с ростом сложности условий движения. В этих

условиях основным видом ДТП становится столкновения транспортных средств, которые движутся на опасных расстояниях.

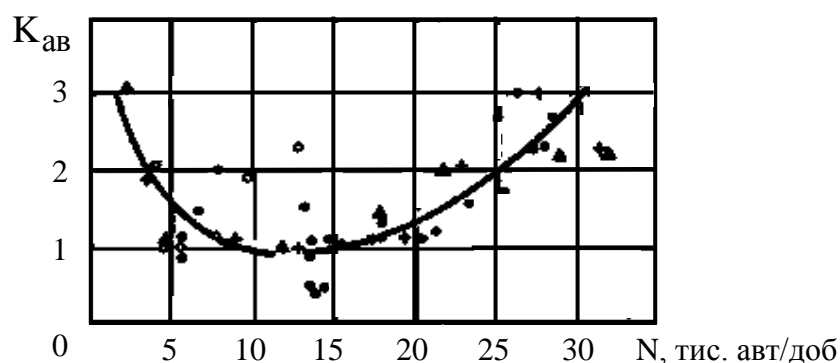


Рис.1. Зависимость относительного количества ДТП от интенсивности движения на участках автомагистралей за данными.

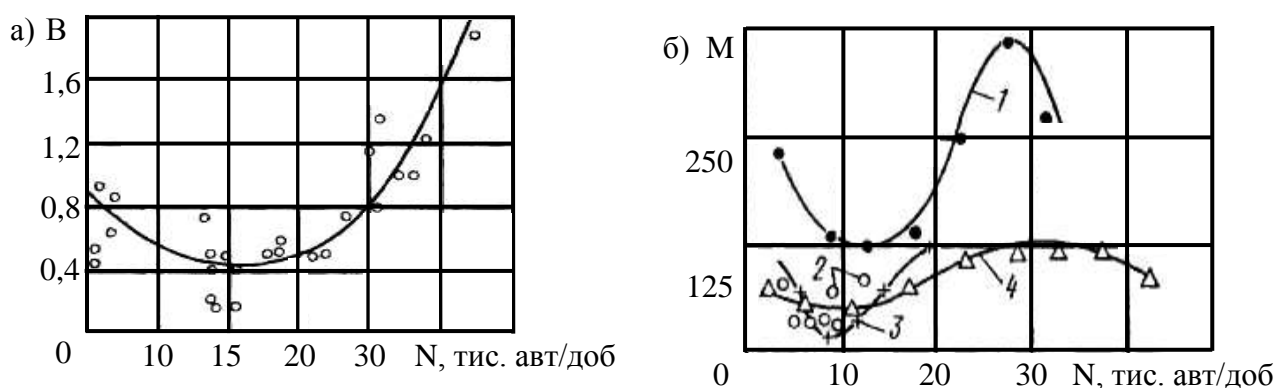


Рис. 2. Зависимость показателей аварийности от интенсивности движения на автомагистралях:

а) на автомагистралях с четырьмя полосами: B - ДТП на 1 км дороги в год;

б) по данным зарубежных исследований: M - число ДТП на 100 млн. авт-км, 1- США; 2 – Франция; 3 – Германия; 4 - США.

При дальнейшем увеличении интенсивности движения на участке магистрали, движение происходит при взаимном влиянии транспортных средств. Дальнейшее увеличение интенсивности движения приводит к появлению сплошного транспортного потока. Наблюдается крайне

неравномерное движение потока транспортных средств с низкими скоростями и частыми остановками. Влияние загрузки участка автомагистрали транспортом на показатели аварийности указанное на рис. 3. Возникают события, в которых одновременно сталкиваются до нескольких десятков автомобилей.

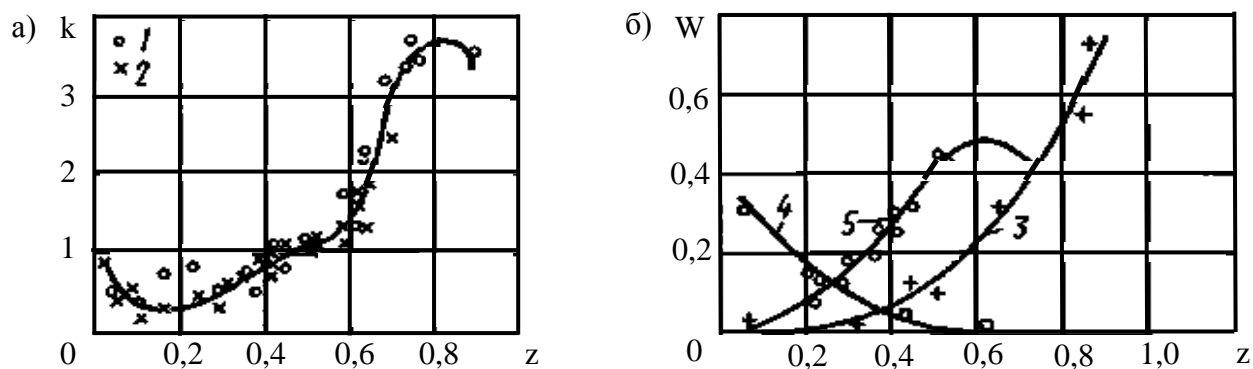


Рис.3. Влияние загрузки автомагистрали движением на количество ДТП

[26]:

а) зависимость относительной аварийности (k) от коэффициента нагрузки (z);

б) влияние нагрузки (z) автомагистрали движением на вид событий (W - количество ДТП на 1 млн. авт-км); 1 – за данными Б.Б. Анохіна; 2 – за данными В.В. Сільянова; 3 – взаимное столкновение; 4 – потеря управления; 5 – неправильный обгон.

Особое внимание из приведенных зависимостей на рис.3. необходимо уделить зависимости 4 – изменение количества ДТП через потерю водителем управляемости транспортного средства, от уровня загрузки участка автомагистрали транспортом, максимальное значение уровня загрузки, при которой возможно анализировать процесс формирования указанных ДТП, есть 0,6.

Описанные выше возможные состояния транспортного потока на

магистральных дорогах чаще всего наблюдаются на протяжении поры. Продолжительность существования плотного транспортного потока, конечно, небольшая и достигает часа или нескольких часов.

Изменение интенсивности движения и уровня загрузки дороги транспортом влияет также на показатели тяжести ДТП, какое раскрытое зависимостью на рис.4.

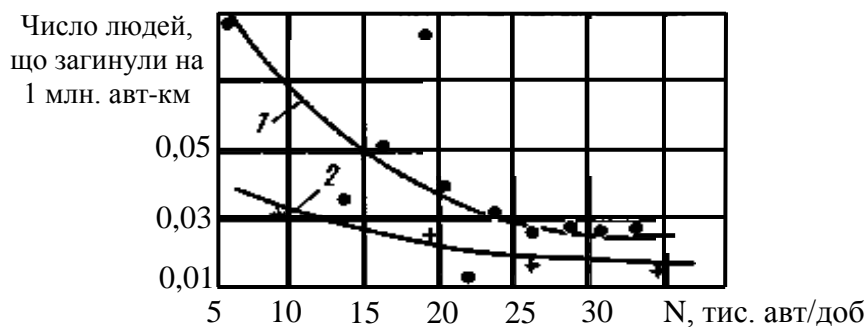


Рис.4. Влияние интенсивности движения на автомагистралях на тяжесть ДТП: 1 – А. Шевяков; 2 – данности США.

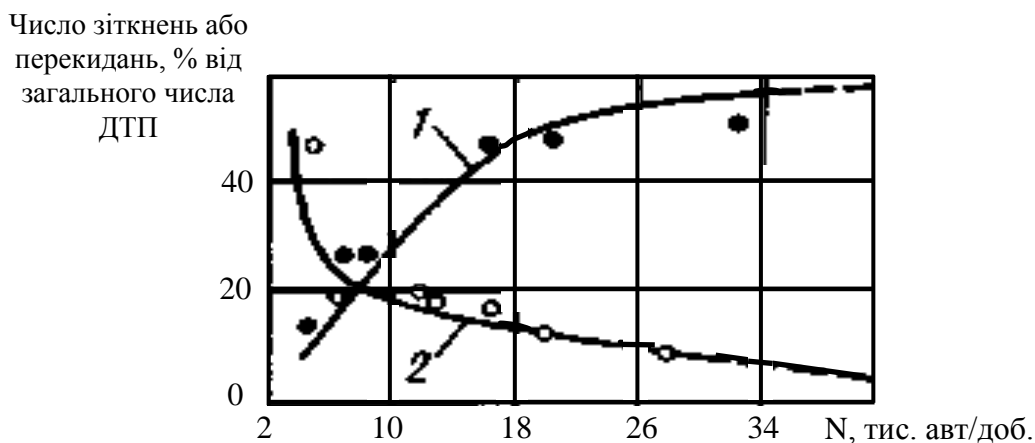


Рис.5. Изменение характера аварийности на автомагистралях с ростом интенсивности движения: 1 – столкновения; 2 – перебрасывания.

Существенным образом влияет на тяжесть ДТП на автомагистралях скорость движения. Нарушения скоростного режима движения дают треть от всего количества ДТП. За расчетную скорость принимается наиболее

возможная скорость единичного автомобилей из условий безопасности движения, при нормальных погодных условиях и обеспечении необходимого сцепления шин автомобилей с поверхностью проездной части в зависимости от сложности участков дороги, согласно ДСТУ 3587-97. Для категории дорог I_a - 150 км/ч., I_b - 140 км/ч.

Расчетные скорости на сопредельных участках не должны отличаться больше, чем на 20%. На рис. 6 показанные графики относительного изменения количества ранений и смертельных случаев на 1 млн. авт-км пробега в зависимости от скорости движения. Кривые для событий с смертельным результатом имеют характерный минимум.

Резкое возрастание опасности ДТП при превышении скорости интервала 60-80 км/ч. очень важное для оценки безопасности движения на участках автомагистралей, поскольку скорость движения на них достигает 150 км/ч. Рост тяжести ДТП при высоких скоростях связаный с увеличением кинетической энергии автомобиля, с осложнением работы водителей, которое связанное и с потерей управления.

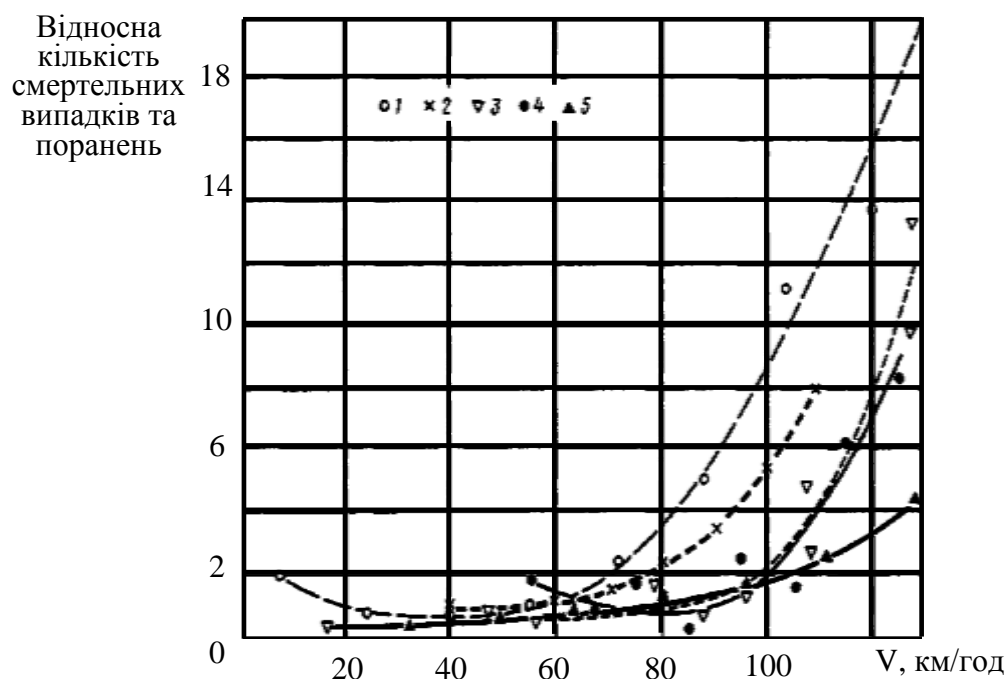


Рис.6. - Относительная опасность ДТП при разных скоростях автомобилем по данным [24]: 1,3,5 - США; 2 - СССР; 4 – Франция.

Из рисунка возможно сделать вывод, что в условиях низкой интенсивности движения менее 10...15 тыс. авт./доб., что видно из рис 1.2, и скоростей движения 80...150 км/ч. наблюдается максимальная тяжесть ДТП, то есть в условиях когда основными видами ДТП есть ДТП через потерю водителем управляемости транспортного средства.

Влияние изменения плотности транспортных потоков и их состава на автомагистралях тоже значительным чином исследованное, рис. 7 и 8

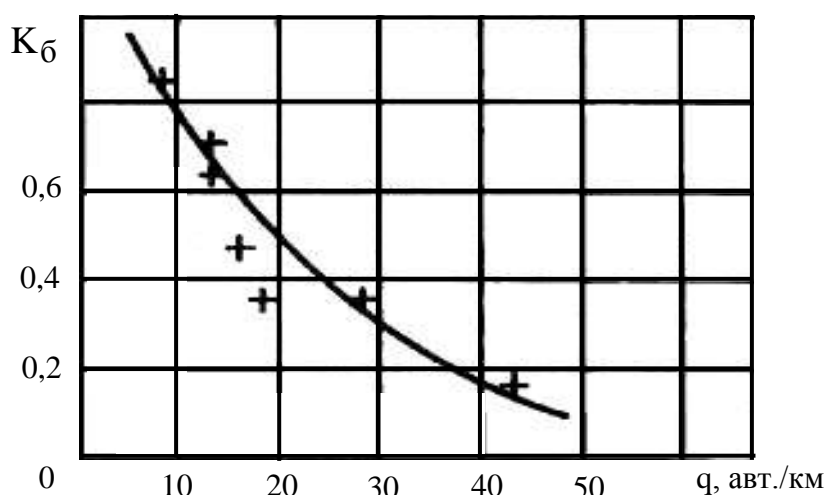


Рис.7. Зависимость коэффициента безопасности ($K_б$) от плотности транспортного потока на автомагистрали.

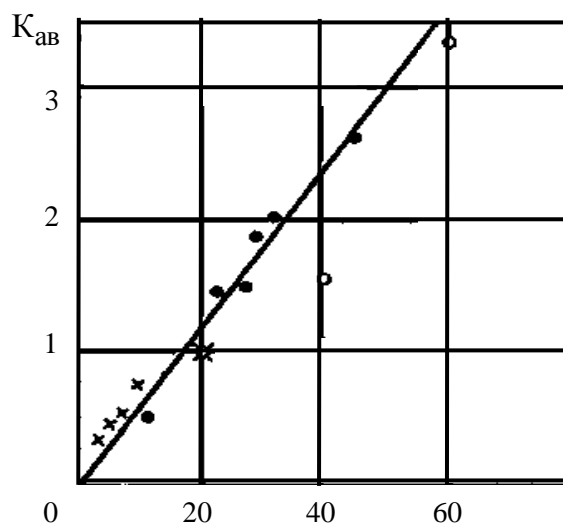


Рис.8. Относительное количество ДТП при увеличении частицы грузовых автомобилей и автобусов в составе транспортного потока.

Из приведенных графических зависимостей, рис. 9 можно сделать вывод, что увеличения плотности транспортного потока на автомагистрали существенно снижает величину коэффициента безопасности, при интенсивности движения до 10..15 тыс. авт./доб. и скоростей движения 80...150 км/ч. имеет место плотность до 20 авт./км, в свою очередь состав транспортного потока влияет на относительное количество ДТП, все это необходимо учитывать при анализе процесса возникновения ДТП через потерю водителем управляемости транспортного средства.

Таким образом, из основных современных исследований влияния характеристик транспортного потока на показатели аварийности на участках автомагистралей соответственно оценке ДТП, которые возникают через потерю водителем управляемости транспортного средства, возможно сделать вывод, что это происходит, чаще за все, при незначительных интенсивности движения до 10..15 тыс. авт./доб., что видно из рис. 2. Такие ДТП присутствуют только при равные загрузки участка автомагистрали с 0 до 0,6, что видно из рис. 3 б. Соответственно тяжести ДТП, она наблюдается наибольшая как раз при интенсивности движения до 10...15 тыс. авт./доб.

Скорость движения в указанном интервале интенсивности достигает высоких значений от 80 до 150 км/ч., при которых наблюдается наибольшая тяжесть ДТП, которое видно из рис. 8. При этом имеет место плотность до 20 авт./км, что видно из рис. 9.

В соответствии с указанным, возможно сформулировать наиболее влиятельные характеристики транспортного потока на формирование ДТП, через потерю водителем управляемости транспортного средства, на участках автомагистралей и границы их изменений: интенсивность движения (изменение в границах 0...15 тыс. авт./доб.); уровень загрузки участка транспортом (изменение в границах 0...0,6); скорость движения (изменение в границах 80...150 км/ч); плотность движения (изменение в границах 0...20 авт./км).

2 Существующие методы и методики оценки безопасности движения транспортного потока

В границах указанных подходов было разработано значительное количество расчетных методик количественной оценки влияния факторов на формирование показателей аварийности, наиболее существенные приведены в таблице, соответственно.

Методы количественной оценки влияния факторов на формирование показателей аварийности

Название метода	Математическая запись	Примечание
1	2	3
Метод линейных графиков коэффициентов аварийности для участков магистралей	$K_a^{\text{вар}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \times \dots \times K_n,$ <p>где $K_a^{\text{вар}}$ - итоговый коэффициент аварийности; $K_1 \dots K_n$ - частичные коэффициенты аварийности; n - общее количество коэффициентов аварийности, которое применяется для оценки участка дороги, согласно разным источникам и постоянному обновлению методики, значения n составляет от 17 до 22. Для автомагистралей существует шесть дополнительных коэффициентов.</p>	Каждый частичный коэффициент аварийности характеризует относительную вероятность возникновения, на рассмотренном участке дороги, событий через влияние дорожных условий по одной независимой причине, общее влияние причин принято оценивать соответственно положению теории вероятности произведением частичных коэффициентов аварийности, в виде обобщенного (итогового) коэффициента аварийности.
Метод коэффициентов безопасности	$K_{\text{б}} = \frac{V_{\text{б}}}{V_{\text{max}}},$ <p>$K_{\text{б}}$ - коэффициент безопасности; $V_{\text{б}}$ - максимальная скорость движения одиночного</p>	Характеризует изменение дорожных условий в зависимости от изменения допустимой скорости одиночного автомобиля при переезде стыков участков дорог с однородными

	<p>автомобиля, который обеспечивается определенным участком дороги;</p> <p>V_{\max} - максимально возможная скорость въезда одиночного автомобиля на этот участок.</p>	<p>дорожными условиями.</p> <p>Участка дороги оценивают за степень опасности движения: 0,4 – очень опасная; 0,4...0,6 – опасная; 0,6...0,8 – мало опасная; 0,8 – практически безопасная.</p>
<p>Метод коэффициента относительной аварийности, или коэффициента событий</p>	<p>- для длинных, однородных, за геометрическими элементами, участков автомагистралей и дорог:</p> $n_{rel} = \frac{10^6 \cdot n_{acy}}{365 \cdot N_r},$ <p>где n_{rel} - коэффициент событий, для длинных, однородных, по геометрическим элементам, участков автомагистралей и дорог;</p> <p>n_{acy} - количество ДТП за год на участке дороги длиной 1;</p> <p>N_r - среднегодовая интенсивностью движения на участке длиной 1.</p> <p>- для коротких участков автомагистралей и дорог с резкими изменениями дорожных условий</p> $n'_{rel} = \frac{10^6 \cdot n_{acy}}{365 \cdot N_r},$ <p>где n'_{rel} - коэффициент событий, для коротких участков дорог с резкими изменениями дорожных условий.</p>	<p>Исследования дорожных условий по указанной методике разрешили сформировать оптимальные геометрические параметры участков дорог и автомагистралей и внести их в строительные нормы, но при применении новых современных значений статистики ДТП возможно регулярно уточнять мероприятия из повышения безопасности дорожного движения.</p>
<p>Метод сопоставления скоростей на сопредельных</p>	$k_{saf} = \frac{V_{adm}}{V_{inf}},$	<p>Коэффициент безопасности может иметь следующие значения: $k_{saf} \geq 0,8$ - безопасный участок дороги;</p>

участках дорожной трассы	k_{saf} - коэффициент безопасности; V_{adm} - допустимая скорость движения автомобиля на рассмотренном участке дороги; V_{inf} - скорость, с которой автомобиль приближается к рассмотренному участку.	$k_{saf}=0,6...0,8$ - осложненные дорожные условия на участке дороги; $k_{saf}=0,4...0,6$ – опасные дорожные условия на участке дороги; $k_{saf}<0,4$ - очень опасные дорожные условия на участке дороги.
Метод коэффициента безопасности, как отношения коэффициентов сцепления на разных участках автомагистралей в условиях сухого и влажного покрытия	$K_a = \frac{e}{E} = \frac{\varphi_M^{вл}}{\varphi_M^{сух}},$ <p>где K_a - коэффициент безопасности относительно сцепляющихся качеств дорожного покрытия; e – потеря энергии на трение резиновой накладки об поверхность влажного покрытия; E – потеря энергии на трение резиновой накладки об поверхность сухого покрытия; $\varphi_M^{вл}$ - коэффициент сцепления влажного покрытия; $\varphi_M^{сух}$ - коэффициент сцепления сухого покрытия.</p>	<p>Значения коэффициента безопасности, при котором обеспечивается безопасное движение автомобилей по дороге такое $K_{\sigma} \geq 0,75$.</p> <p>Расчет коэффициента разрешает объективно оценить изменение эффективности взаимодействия колес автомобиля с дорожным покрытием, которое без сомнения учитывает безопасность движения.</p>
Топографический анализ ДТП	---	<p>Методика топографического анализа ДТП, которые возникли по причине дорожных условий, разрешает довольно объективно исследовать участка дорог и их характеристики, которые требуют реконструирования. Но это методика есть опосредствованной, так как оперирует минувшим процессом взаимодействия транспортного потока и дорожных условий, не дает</p>

	<p>возможность оперативного реагирования на причины ДТП и тем более разрабатывать соответствующие мероприятия по их предупреждению, но обеспечивает получения перспективных конкретных рекомендаций относительно повышения безопасности движения на конкретном участке дороги.</p>
--	--

Анализ показал, что из основных современных методов оценки причин возникновения аварийности на участках автомагистралей в зависимости от дорожных условий, практически все не дают объективного ответа на вопрос относительно причины наличия на сегодня высокой аварийности (которая подтверждается современным анализом статистики ДТП), так как подавляющее большинство характеристик дорожных условий согласно указанным методам уже оптимизована и стандартизированное.

Но некоторые методы, при их развитии, могут учесть непостоянные характеристики дорожных условий (коэффициент сцепления, шершавость и равенство дорожного покрытия и прочие) которые определяют внезапность изменений условий движения транспортных средств за временем и пространством соответственно причинам возникновения ДТП через потерю водителем управляемости транспортного средства, наиболее эффективной в этом направлении может быть рассмотренный метод коэффициенту безопасности относительно сцепляющихся качеств дорожного покрытия.

Лекция №7,8

Існуючі методи контролю поточних характеристик руху транспортних потоків на ділянках магістральних доріг, технічні засоби контролю.

1 Пример технологии сбора информации о характеристиках управляемых транспортных потоков

Изобретение относится к системам регулирования движения транспортных средств, в частности к системам регулирования движения дорожного транспорта в области сбора текущих данных о движении транспортного потока.

Поставленная задача решается тем, что в существующем способе контроля движения дорожного транспорта с фиксированием трех положений отдельных дорожных транспортных средств по длине дороги, замером при этом времени их движения от одного к другому положению, с сопутствующим определением двух значений их скорости движения, дополнительно, во втором положении измеряют величины нормального силового взаимодействия колес каждого дорожного транспортного средства с поверхностью дорожного полотна, на основании измерений определяют их массу, по величине массы и двум значениям скорости рассчитывают два значения текущей кинетической энергии каждого дорожного транспортного средства, суммируют их, и получают два текущих значения кинетической энергии контролируемого движения дорожного транспорта, используют при этом замеренные время движения, расстояние между первым и третьим положением и рассчитывают изменения текущей кинетической энергии во времени и по длине пройденного пути.

Предложенное решение поясняется чертежом одного из возможных

устройств, в котором реализуется предлагаемый способ, где на фиг. - представлена структурно-кинематическая схема установки по контролю кинетической энергии движения дорожного транспорта.

Установка выполнена на участке проезжей части и включает: 1 – дорожное полотно; 2 – полосы одного направления движения; 3 – линии разграничения полос; 4 – движущиеся автомобили. Конструктивно в состав установки входят: 5 – первый блок детекторов дорожных транспортных средств; 6 – второй блок детекторов дорожных транспортных средств; 7 – промежуточный блок датчиков массы дорожных транспортных средств; 8 – электрические цепи; 9 – вычислительный блок; 10 – единичное расстояние установки блоков детекторов дорожных транспортных средств L .

Блок датчиков массы транспортных средств 7, выполнен в виде металлической полосы, установленной в дорожное покрытие 1 с возможностью деформации при воздействии на нее колес дорожного транспортного средства 4, на полосе закреплены тензометрические датчики, которые в зависимости от величины деформации изменяют свойства подключенной к ним электрической цепи 8 вычислительного блока 9. Характер данного изменения прямо пропорционален весу, воздействующему на полосу. Блоки 5 и 6 формируются из известных конструкций детекторов транспорта.

Порядок работы устройства:

- движущееся дорожное транспортное средство фиксируется датчиком 5, при этом начинается отсчет времени t_1 ;
- проезжая датчик 7, дорожное транспортное средство фиксируется во втором положении, определяется его масса m , заканчивается первый отсчет времени и начинается второй - t_2 ;
- движущееся дорожное транспортное средство фиксируется датчиком 6 и второй отсчет времени заканчивается;
- вычислительный блок 9 выполняет следующие расчеты:

а) значения скоростей конкретных дорожных транспортных средств V_{1_i} и V_{2_i} определяются по формулам:

$$V_{1i} = \frac{L}{t_{1i}}, \quad V_{2i} = \frac{L}{t_{2i}}; \quad (1)$$

б) значения текущей кинетической энергии конкретных дорожных транспортных средств K_{1i} и K_{2i} рассчитываются по формулам:

$$K_{1i} = \frac{m_i \cdot V_{1i}^2}{2}, \quad K_{2i} = \frac{m_i \cdot V_{2i}^2}{2}; \quad (2)$$

в) значения текущей кинетической энергии потока дорожных транспортных средств K_1 и K_2 рассчитываются по формулам:

$$K_1 = \sum K_{1i}, \quad K_2 = \sum K_{2i}; \quad (3)$$

г) изменение кинетической энергии потока дорожных транспортных средств во времени ΔK_t равно:

$$\Delta K_t = \frac{K_2 - K_1}{t_1 + t_2}; \quad (4)$$

д) изменение кинетической энергии потока дорожных транспортных средств по длине пройденного пути ΔK_L определяется по формуле:

$$\Delta K_L = \frac{K_2 - K_1}{2L}. \quad (5)$$

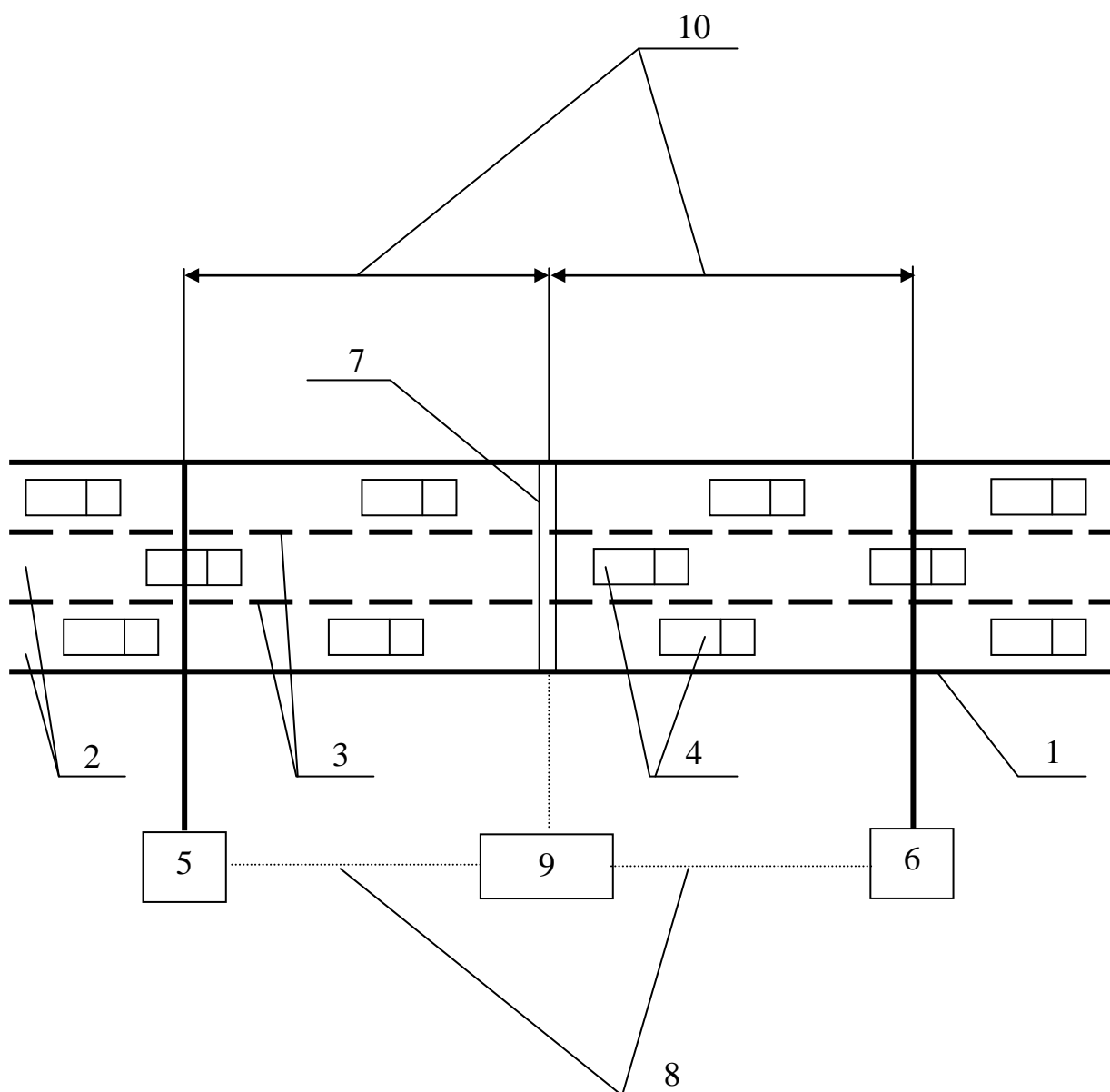


Рис. 1. Способ контроля движения дорожного транспорта

2 Способ управления потоками дорожного транспорта главного направления на перекрестках дорог в одном уровне

Изобретение относится к системам контроля движения дорожных транспортных средств, в частности к системам контроля и предупреждения водителей дорожных транспортных средств о безопасности дорожного

движения.

Существует способ контроля безопасности движения дорожного транспорта, заключающийся в выполнении видеосъемки движущегося дорожного транспорта на нерегулируемом перекрестке дорог в одном уровне. Выполняют фото-, кино- или видеосъемку области перекрестка с возвышающегося дорожного или придорожного сооружения, при этом фиксируют текущее состояние дорожно-транспортной ситуации.

Полученную съемку перерабатывают в кадровую группу снимков через равные интервалы времени. Снимки геодезическим методом расшифровывают, с расшифрованных снимков определяют перемещения отдельных дорожных транспортных средств, делением перемещений на известное время их осуществления, определяют скорости, и их изменения, отдельных дорожных транспортных средств, интенсивность движения по направлениям, а также регистрируют возникающие дорожно-транспортные происшествия.

Недостаток известного способа связан, прежде всего, с тем, что полученные значения параметров движения дорожного транспорта соответствуют только моменту съемки перекрестка, фиксируется ограниченное число характеристик транспортных потоков и произошедшие дорожно-транспортные происшествия в период съемки. В этом случае безопасность движения через нерегулируемый перекресток дорог в одном уровне не контролируется как непрерывный процесс возникновения аварийно опасных ситуаций среди дорожных транспортных средств, находящихся в текущий момент на перекрестке. Отсутствует возможность разрабатывать и осуществлять оперативные воздействия на дорожные транспортные средства по изменению их текущих характеристик движения в зависимости от изменений текущего уровня безопасности движения на нерегулируемом перекрестке дорог в одном уровне. Данный способ также является значительно дорогостоящим.

Наиболее близким к заявляемому, является способ предупреждения

водителей дорожного транспорта о безопасности движения через нерегулируемый перекресток дорог в одном уровне, заключающийся в оборудовании нерегулируемого перекрестка дорог в одном уровне стандартными техническими средствами организации дорожного движения в виде установки дорожных знаков, нанесения дорожной разметки и установки направляющих устройств.

Недостаток известного способа связан с отсутствием количественной оценки текущего уровня безопасности движения через нерегулируемый перекресток дорог в одном уровне, о котором необходимо сообщать водителям приближающихся дорожных транспортных средств. В известном способе также нет возможности непрерывно разрабатывать управляющие воздействия на приближающийся дорожный транспорт к нерегулируемому перекрестку дорог в одном уровне с целью повышения текущей безопасности движения.

Технической задачей создания изобретения является обеспечение возможности: регистрации текущего уровня безопасности движения дорожных транспортных средств через нерегулируемый перекресток дорог в одном уровне, что позволит заблаговременно предупреждать водителя прибывающего дорожного транспортного средства к перекрестку дорог о сложившейся дорожно-транспортной ситуации на нем, что в свою очередь обеспечивает повышение безопасности дорожного движения.

Поставленная задача решается тем, что в существующем способе предупреждения водителей о безопасности движения на нерегулируемом перекрестке дорог в одном уровне посредством дорожных знаков, дорожной разметки, направляющих устройств, дополнительно в режиме реального времени фиксируют въезжающие и выезжающие дорожные транспортные средства в области перекрестка, за заданный промежуток времени, детекторами дорожного транспорта, которые устанавливаются по границам области перекрестка, полученную информацию перерабатывают в количественную характеристику текущего уровня безопасности движения на нерегулируемом

перекрестке дорог в одном уровне, о котором сообщают водителям дорожных транспортных средств, в виде мигающего желтого сигнала стандартной секции дорожного светофора, с частотой мигания, пропорциональной рассчитанному значению характеристики текущего уровня безопасности движения на нерегулируемом перекрестке дорог в одном уровне.

Последовательность математических расчетов для получения количественной характеристики текущего уровня безопасности движения на нерегулируемом перекрестке дорог: по количествам въехавших и выехавших дорожных транспортных средств из области перекрестка дорог, за заданный промежуток времени, рассчитывают текущее количество дорожных транспортных средств на перекрестке, на основе которого через отношение суммы площадей участков накладки габаритных полос движения дорожных транспортных средств, по разрешенным направлениям, к общей площади проезжей части перекрестка, рассчитывают среднее количество дорожных транспортных средств, находящихся попарно в точках пересечения конфликтных направлений, которое делят на общее количество точек пересечения конфликтных направлений на перекрестке, полученный результат, в долях единицы, раскрывает текущий уровень безопасности движения через нерегулируемый перекресток дорог в одном уровне.

Осуществление предложенного способа поясняется чертежом одного из возможных устройств, в котором реализуется предлагаемый способ, где на фиг.1 представлена схема установки по предупреждению водителя о текущем состоянии безопасности движения дорожного транспорта через нерегулируемый перекресток дорог в одном уровне.

Установка включает: 1 – опора растяжки для сигнальной секции светофора; 2 – растяжка сигнальной секции светофора; 3 – сигнальная секция светофора с желтым стеклом; 4 – электросоединения сигнальной секции светофора с управляющим устройством; 5 – управляющее устройство; 6 – электросоединения детекторов дорожного транспорта, въезжающего на перекресток, с управляющим устройством; 7 - электросоединения детекторов

дорожного транспорта, выезжающего с перекрестка, с управляющим устройством; 8 – детектор дорожного транспорта выезжающего на перекресток дорог в одном уровне; 9 – детектор дорожного транспорта выезжающего с перекрестка дорог в одном уровне; 10 – разметка дорожная; 11 – край проезжей части примыкающих дорог; 12 – дорожное транспортное средство; 13 – границы площади проезжей части перекрестка по которой движется дорожный транспорт; 14 – полосы движения дорожного транспорта на перекрестке дорог в одном уровне в разрешенных направлениях, ширина каждой равна динамическому габариту дорожного транспортного средства при выполнении соответствующего маневра; 15 – участки накладки полос движения дорожного транспорта друг на друга; 16 – расстояние от детектора дорожного транспорта выезжающих дорожных транспортных средств до места установки сигнальной секции светофора.

Детекторы 8, 9 дорожного транспорта применяются известной конструкции. Сигнальная секция 3 светофора является стандартной.

Нерегулируемый перекресток дорог в одном уровне необходимо геометрически проанализировать.

Для этого, в масштабе чертят перекресток и на его области, ограниченной по направлениям местами установки детекторов 8, 9 дорожного транспорта, чертят габаритные полосы движения дорожных транспортных средств с шириной равной динамическому габариту 14 указанных дорожных транспортных средств с учетом разрешенных маневров на перекрестке дорог в одном уровне. Выделяют области накладки указанных габаритных полос в виде замкнутых многоугольников 15. Далее рассчитывают площадь проезжей части перекрестка $S_{пр}$ ограниченную линией 13, и суммарную площадь многоугольников 15, обозначаемую $S_{к}$. Рассчитывают соотношение площадей δ :

$$\delta = \frac{S_{к}}{S_{пр}}. \quad (1)$$

Дополнительно рассчитывают общее количество точек n_T пересечения конфликтных направлений на перекрестке.

Порядок работы устройства:

- в течение заданного времени Δt детекторы транспорта 8 и 9 фиксируют проезжающие дорожные транспортные средства, информация о которых передается через соединения 6 и 7 на управляющее устройство 5, где суммируется в количество въехавших дорожных транспортных средств n_1 и выехавших дорожных транспортных средств - n_2 с области перекрестка, ограниченной линией 13;

- по окончании отрезка времени Δt в управляющем устройстве 5 рассчитывается текущее количество дорожных транспортных средств n_0 , находящихся в области перекрестка, ограниченной замкнутой линией 13:

$$n_0 = n_1 - n_2, \text{ за } \Delta t; \quad (2)$$

- в управляющем устройстве 5 рассчитывается среднее количество дорожных транспортных средств, находящихся попарно в точках пересечения конфликтных направлений $n_{ак}$:

$$n_{ак} = \frac{1}{2} \delta \cdot n_0, \text{ за } \Delta t; \quad (3)$$

- в управляющем устройстве 5 рассчитывается текущий уровень безопасности движения в долях единицы Z :

$$Z = \frac{n_{ак}}{n_T}, \text{ за } \Delta t; \quad (4)$$

- в управляющем устройстве 5 формируется сигнал для секции светофора 3, например, $Z=0...0,33$ – сигнала нет; $Z=0,33...0,66$ – мигающий сигнал с частотой 1 Гц; $Z=0,66...1$ – постоянное горение сигнала.

Программа может уточняться с учетом годовой статистики дорожно-транспортных происшествий.

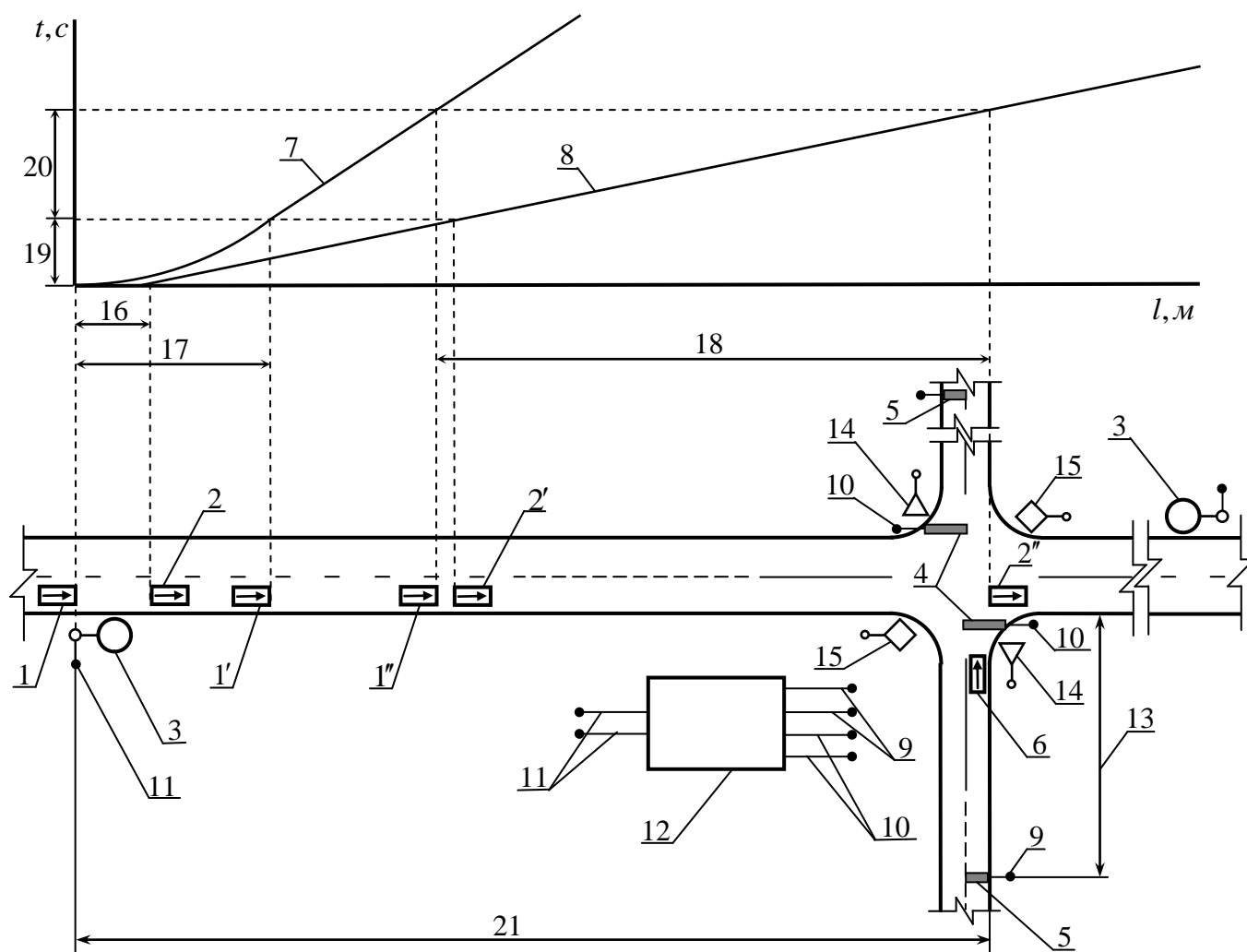


Рис. 2. Способ управления потоками дорожного транспорта главного направления на перекрестках дорог в одном уровне

3 Способ предупреждения водителя о текущем состоянии безопасности движения дорожного транспорта через нерегулируемый перекресток дорог в одном уровне

Изобретение относится к системам управления движением дорожного транспорта, в частности к системам учета и управления движением дорожных транспортных средств.

Существует способ управления потоками дорожного транспорта на перекрестках дорог в одном уровне, заключающийся в разделении пересекающихся потоков дорожного транспорта на территории перекрестка во времени, путем пропуска потоков определенного направления и соответствующей остановки потоков с пересекаемых направлений.

Основным недостатком указанного способа является необходимость полной остановки потоков дорожного транспорта, что приводит к значительным потерям времени участников движения, к дополнительным расходам топлива и соответствующим износам дорожных транспортных средств, а также к увеличению вредных выбросов в окружающую среду.

Наиболее близким к заявляемому способу, является способ управления потоками дорожного транспорта на перекрестках дорог в одном уровне, заключающийся в фиксировании наличия хотя бы в одном потоке дорожного транспорта, которые приближаются к перекрестку дорог в одном уровне, интервала между соседними дорожными транспортными средствами, движущимися по соответствующей полосе, который оценивается как достаточный, и по указанной полосе движения останавливается поток, при этом, с учетом общей схемы организации движения на перекрестке, вырабатывается решение о разрешении движения потока дорожного транспорта пересекающего направление остановленного потока.

К недостаткам указанного способа можно отнести: недостаток предыдущего способа в необходимости полной остановки потоков дорожного

транспорта, что приводит к значительным потерям времени участников движения, к дополнительным расходам топлива и соответствующим износам дорожных транспортных средств, а также к увеличению выбросов вредных веществ в окружающую среду; недостаток, связанный с тем, что при движении дорожного транспорта через перекресток дорог интервалы в потоках формируются случайно и, чем плотнее поток, тем значения интервалов меньше, это приводит к отсутствию фиксирования достаточного интервала для реализации рассмотренного способа управления.

Технической задачей создания изобретения является: обеспечение возможности бесконфликтного проезда дорожными транспортными средствами второстепенного направления сквозь поток дорожного транспорта главного направления на нерегулируемом перекрестке дорог в одном уровне. Решение поставленной технической задачи позволит повысить безопасность движения в области нерегулируемых перекрестков дорог в одном уровне.

Поставленная задача решается посредством искусственного разделения во времени процессов прибытия дорожных транспортных средств в область перекрестка дорог с главного направления в зависимости от наличия дорожных транспортных средств на второстепенном направлении. Искусственное разделение потоков дорожного транспорта достигается путем введения в определенный момент времени в действие ограничения скорости движения по главному направлению на подходах к перекрестку, что обеспечивает формирование различной скорости движения в паре дорожных транспортных средств, в которой водитель впереди движущегося дорожного транспортного средства не успел отреагировать на введенное ограничение скорости, а водитель дорожного транспортного средства движущегося сзади успел отреагировать на введенное ограничение скорости, за счет полученной разницы скоростей, с течением времени, в указанной паре дорожных транспортных средств формируется необходимый интервал потока дорожного транспорта главного направления для проезда сквозь него прибывших дорожных транспортных средств на второстепенном направлении.

Осуществление предложенного способа поясняется чертежом одного из возможных устройств, где на фигуре 1 представлена схема установки по управлению потоками дорожного транспорта главного направления на перекрестках дорог в одном уровне.

Установка включает: 1, 2 – пара дорожных транспортных средств, движущихся по главному направлению к перекрестку в момент переключения информации о разрешенной скорости на знаке 3; 1', 2' - положение пары дорожных транспортных средств в момент выполнения требований знака 3 о снижении скорости водителем 1-го дорожного транспортного средства; 1'', 2'' - положение пары дорожных транспортных средств в момент сформированного необходимого интервала в потоке дорожного транспорта главного направления; 3 – дорожный знак переменной информации, ограничивающий максимальную скорость движения; 4, 5 – детекторы дорожного транспорта, соответственно: разъезжающегося дорожного транспорта второстепенного направления на перекрестке дорог в одном уровне и въезжающегося дорожного транспорта в его зону; 6 – дорожное транспортное средство, движущееся по второстепенному направлению; 7, 8 – графики изменения скорости движения пары дорожных транспортных средств 1, 2; 9, 10, 11 – электросоединения, соответственно: детекторов 4, 5 и дорожного знака переменной информации 3; 12 - управляющее устройство; 13 – расстояние между детекторами дорожного транспорта 4, 5; 14 – дорожный знак 2.1 «Уступи дорогу»; 15 - дорожный знак 2.3 «Главная дорога»; 16 - дистанция l_d между парой дорожных транспортных средств 1, 2 главного направления в момент включения знака 3; 17 – путь $l_{з1}$, пройденный дорожным транспортным средством 1, движущимся с ограниченной скоростью, за время замедления в положение 1'; 18 - длина l_p сформированного интервала в паре дорожных транспортных средств 1, 2, в потоке дорожного транспорта главного направления, необходимого для безопасного разъезда дорожных транспортных средств второстепенного направления; 19 - время $t_{з1}$ замедления дорожного транспортного средства 1,

движущегося с ограниченной скоростью; 20 - время t_p окончательного формирования интервала в паре дорожных транспортных средств 1, 2 в потоке дорожного транспорта главного направления; 21 - расстояние L установки дорожного знака с переменной информацией перед перекрестком дорог в одном уровне.

Порядок работы устройства:

- детекторы дорожного транспорта 5, установленные на расстоянии 13 до главного направления, фиксируют дорожные транспортные средства n_1 за некоторое время Δt , движущиеся по второстепенному направлению к перекрестку дорог в одном уровне, информация о которых передается через электросоединения 9 в управляющее устройство 12;

- в случае отсутствия возможности беспрепятственного проезда перекрестка дорожные транспортные средства n_1 останавливаются перед детектором дорожного транспорта 4 для пропуска дорожных транспортных средств главного направления в соответствии с требованием дорожных знаков и разметки;

- между детекторами дорожного транспорта 5 и 4 за время Δt формируется очередь из дорожных транспортных средств n , длина которой ограничена расстоянием 13, определяемым путем натурных обследований потока дорожного транспорта второстепенного направления;

- на расстоянии L перед перекрестком дорог в одном уровне по главным направлениям устанавливаются дорожные знаки 3 переменной информации, ограничивающие максимальную скорость движения;

- детекторы дорожного транспорта 4 фиксируют дорожные транспортные средства второстепенного направления n_2 , которые разъезжаются на перекрестке за время Δt , если $n = n_1 - n_2 > 0$, $n_1 \neq 0$, управляющее устройство 12 через Δt изменяет информацию по электросоединениям 11 на дорожном знаке 3 в сторону уменьшения скорости с V_0 до V_1 ;

- водитель дорожного транспортного средства 1 при виде изменения сигнала дорожного знака 3 с V_0 до V_1 снижает скорость до V_1 , впереди движущиеся дорожные транспортные средства продолжают двигаться со скоростью V_2 , в результате чего, в потоке дорожного транспорта формируется интервал необходимый для разъезда очереди на второстепенном направлении;

- при первом срабатывании детектора дорожного транспорта 4 (начало разъезда очереди) управляющее устройство 12 изменяет информацию на дорожном знаке 3 с V_1 на V_2 ;

- если дорожные транспортные средства второстепенного направления продолжают прибывать к перекрестку и n остается положительным, управляющее устройство 12 изменит информацию на дорожном знаке с V_0 на V_1 через $\Delta t = L/V_1$, V_1 - скорость дорожных транспортных средств после смены информации на дорожном знаке с V_0 на V_1 .

Предлагается расстояние L установки дорожного знака с переменной информацией перед перекрестком дорог рассчитывать по следующей формуле:

$$L = l_d + V_2 \cdot \left(\frac{S_o + B_{\text{пр}}^{\text{ВТ}} + (V_2 - V_1) \cdot \sum_{i=1}^n t_{\text{min},i} + l_{z1} - V_1 \cdot t_{z1} - l_d}{V_2 - V_1} \right), \quad (1)$$

где S_o - остановочный путь дорожного транспортного средства 1 (рассчитывается или принимается по известным методикам);

$B_{\text{пр}}^{\text{ВТ}}$ - ширина проезжей части второстепенной дороги;

t_{min} - минимальное время необходимое для проезда перекрестка дорог в одном уровне одним дорожным транспортным средством второстепенного направления.

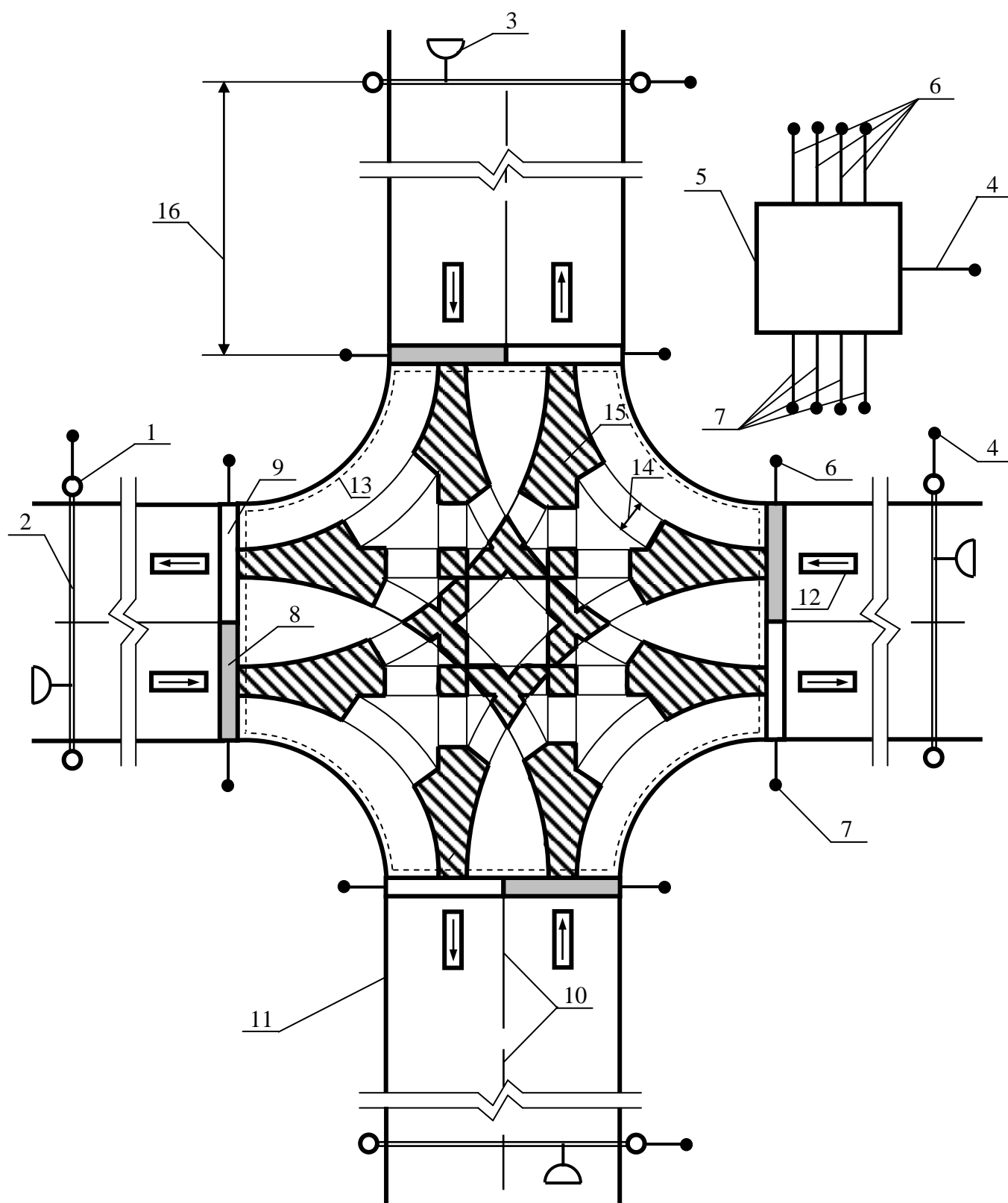


Рис. 3. Устройство для предупреждения водителя о текущем состоянии безопасности движения дорожного транспорта через нерегулируемый перекресток дорог в одном уровне