

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**
(ВлГУ)

Институт машиностроения и автомобильного транспорта

Кафедра «Автотранспортная и техносферная безопасность»

Методические указания к лабораторным занятиям
по дисциплине **«Моделирование транспортных процессов»** для студентов ВлГУ,
обучающихся по направлению 230301 «Технология транспортных
процессов» профиль «Организация и безопасность движения»

Составитель:

И.В. Денисов

Владимир – 2015 г.

Общие положения

Выполнение практических работ по курсу « Моделирование транспортных процессов» является этапом профессиональной подготовки студентов, обучающихся по специальности 190700, и способствует закреплению теоретических основ лекционного курса МТП.

Каждый студент предоставляет отчет о всех работах в отдельной тетради с обязательным наличием титульного листа.

Выбор варианта задания предлагается в каждой работе отдельно.

Лабораторная работа № 1

ТЕМА. Учёт погодно-климатических факторов при оценке пропускной способности.

ЦЕЛЬ. Изучить методику определения пропускной способности в зависимости от погодно-климатических факторов.

Методические указания

При оценке практической пропускной способности в реальных дорожных условиях для целей организации движения следует пользоваться уравнением

$$P = \omega \alpha v_0 q_{\max} \quad (1)$$

где ω —коэффициент, зависящий от загрузки встречной полосы движения ($\omega = 1,3$ при малой загрузке встречной полосы $z \leq 0,4$; $\omega = 1$ при равном распределении интенсивности по встречным полосам; $\omega = 0,99$ при высокой загрузке встречной полосы $z \geq 0,4$); α — коэффициент, зависящий от дорожных условий и типа дорог; v_0 — скорость движения в свободных условиях на рассматриваемом участке, км/ч; $q_{\max} = L/l$ — максимальная плотность движения на рассматриваемом участке, авт./км; L — длина участка; l — интервал между автомобилями.

Максимальную плотность смешанного транспортного потока устанавливают с учётом интервалов между автомобилями и их габаритов. Для удобства определения q_{\max} следует ввести средний расчетный интервал $l_{\text{расч}}$, представляющий собой сумму дистанций между автомобилями и длину участка, занимаемого передним автомобилем.

При разнородном составе потока средний интервал следует определять с учетом возможного сочетания стоящих друг за другом автомобилей:

$l_{\text{расч}} = p_l^2 l_{ll} + p_l p_z l_{lz} + p_l p_a l_{la} + p_z p_l l_{zl} + p_z^2 l_{zz} + p_z p_a l_{za} + p_a p_l l_{al} + p_a p_z l_{az} + p_a^2 l_{aa}$,
где p_l, p_z, p_a — фактическая вероятность появления легкового, грузового автомобиля и автомобильного поезда (определяют по данным учета движения или задают составом движения); l_{la}, l_{lz}, l_{az} — интервалы между типами автомобилей с учетом их длины (табл.1).

Таблица 1

Тип заданных автомобилей	$l_{расч}$, м, для автомобилей		
	легковых	грузовых	автопоездов
Легковые	7,3	9,3	13,2
Грузовые	9,0	9,7	14,1
Автопоезда	13,0	14,2	17,3

Пропускная способность автомобильных дорог наиболее заметно снижается в периоды действия неблагоприятных погодных-климатических факторов: дождей, снегопадов, гололеда, тумана и др. Это объясняется тем, что такие факторы существенно влияют на состояние дороги, автомобиля и водителя, на взаимодействие автомобиля с дорогой и восприятие водителем дороги и окружающей обстановки. В результате снижается скорость, увеличиваются интервалы в транспортном потоке и, как следствие, снижается пропускная способность, образуются заторы и происходят остановки.

Поэтому пропускную способность обязательно проверяют для состояния дороги и условий погоды в наиболее трудные периоды года — зимний и осенне-весенний.

В зависимости от категории и народно-хозяйственного значения дороги, содержания, климата района при оценке пропускной способности могут быть приняты следующие расчетные состояния поверхности дороги:

а) Зимний период:

1) слой рыхлого снега на покрытии и обочинах лежит только во время снегопада и метелей в перерывах между проходами снегоочистительных машин;

2) проезжая часть чистая, уплотненный снег и лед имеются на прикромочных полосах, а рыхлый снег на обочинах;

3) на проезжей части слой плотного снежного наката, на обочинах рыхлый снег;

4) поверхность дороги покрыта гололедом;

5) покрытие влажное, имеется рыхлый слой снега и льда, растворенного хлоридами.

Характерные условия погоды: снегопад без ветра или с ветром скоростью до 3 м/с, метель (низовая, верховая, общая), сильный ветер.

Схемы 1, 4 и 5 — расчетные для дорог I—III категорий, 2 и 3 — для дорог III и IV категорий.

б) Осенне-весенний переходный период:

1) вся поверхность дороги мокрая, чистая;

2) проезжая часть мокрая, чистая, прикромочные полосы загрязнены;

3) проезжая часть мокрая, загрязненная.

Схема 1 является расчетной для дорог I и II категорий с обочинами, укрепленными на всю ширину каменными материалами, обработанными минеральным или органическим вяжущим.

Схема 2 относится к дорогам с обочинами, укрепленными каменными мате-

риалами на всю ширину или с краевыми полосами, схема 3 — к дорогам без укрепленных обочин и краевых полос.

Пропускную способность полосы движения двухполосных дорог с учетом их состояния и погодно-климатических условий следует определять по формуле (1).

Средняя скорость свободного движения для расчета пропускной способности с учетом состояния дороги и погодно-климатических условий

$$\begin{aligned} \bar{v}_0 &= v_{\phi \max} - 3\sigma_v, \text{ или} \\ v_0 &= K_{p.c} v_{\varepsilon \max} - 3\sigma_v, \end{aligned} \quad (2)$$

где $v_{\phi \max}$ — максимально возможная по динамическим характеристикам или условиям безопасности скорость легкового автомобиля в расчетных условиях погоды на данном элементе дороги; $v_{\varepsilon \max}$ — максимальная скорость в эталонных условиях движения на данном участке дороги, но не более v_p км/ч; σ_v — среднее квадратичное отклонение скорости движения свободного транспортного потока, км/ч; принимают по данным рис. 1 для скорости:

$$v_{\phi \max} = K_{p.c} v_{\varepsilon \max}; \quad (3)$$

$$K_{p.c} = \frac{v_{\phi \max}}{v_{\varepsilon \max}}, \quad (4)$$

$K_{p.c}$ — коэффициент обеспеченности расчетной скорости.

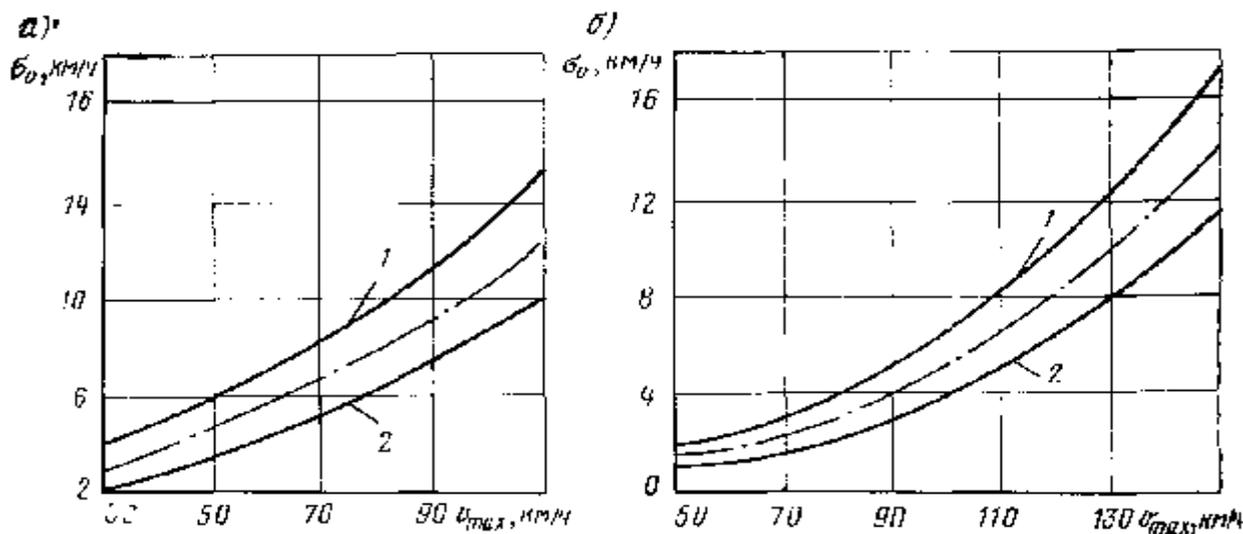


Рис. 1. Зависимость среднеквадратичного отклонения от максимальной скорости:

а — для двухполосных дорог; б — для автомобильных магистралей:

1 — максимальное значение; 2 — минимальное значение

За эталонный принят горизонтальный прямой участок с сухим, чистым, шероховатым покрытием и укрепленными обочинами. За эталонные условия погоды принято сухое летнее время с температурой воздуха 20°C при отсутствии дождя, ветра и тумана.

Для упрощения расчетов $v_{\varepsilon \max}$ можно принять равной 120 км/ч, после чего весь расчет пропускной способности при неблагоприятных условиях погоды и неблагоприятном состоянии дорог сводится к определению $v_{\phi \max}$ и $K_{p.c}$.

Коэффициент, учитывающий влияние загрузки движением встречной или попутной полос в различных погодно-климатических условиях:

Условия.....	эталонные	нормальные	трудные
$K_{p.c}.....$	1	0,75-1	0,75
ω для двухполосных дорог.....	0,9	0,8	0,7
ω для многополосных дорог.....	0,9	0,9	0,8

Коэффициент α , учитывающий дорожные условия и максимально возможную или максимально допустимую скорость:

для двухполосных дорог со встречным движением

$$\alpha = 0,65 - 0,00425 v_{\phi \max}; \quad (5)$$

для многополосных дорог с попутным движением:

при максимальных скоростях до 110 км/ч

$$\alpha = 0,68 - 0,005 v_{\phi \max}; \quad (6)$$

при максимальных скоростях от 110 до 150 км/ч

$$\alpha = 0,43 - 0,0027 v_{\phi \max}. \quad (7)$$

Фактическую максимально возможную или максимально допустимую скорость легкового автомобиля при проектировании новых дорог можно определить аналитическим путем исходя из схем расчета, требований к геометрическим параметрам и транспортно-эксплуатационным характеристикам. Основной задачей при этом является обязательный учет влияния метеорологических факторов на дорогу, взаимодействия автомобиля с дорогой и восприятия водителем условий движения.

Для определения пропускной способности дорог $v_{\phi \max}$ и v_0 можно назначить расчетом или по данным наблюдений за скоростями свободного движения легковых автомобилей в неблагоприятных условиях погоды на всех характерных участках дороги при всех расчетных скоростях.

Максимально возможную скорость в период снегопада или при наличии снега на горизонтальных участках или на подъемах определяют из основного уравнения движения, подставляя в него соответствующие значения сопротивления качению и коэффициента сцепления (рис. 2).

Максимально допустимую скорость на спуске определяют из условия торможения перед внезапно возникшим препятствием на покрытии, а коэффициент обеспеченности расчетной скорости находят исходя из равенства остановочных путей при эталонном состоянии и покрытии, характерном для расчетного периода.

Значения коэффициентов обеспеченности расчетной скорости при различных состояниях покрытия и на участках с различными продольными уклонами приведены на рис. 3.

Рис. 2. Зависимость коэффициентов сцепления ϕ и сопротивления качению f от толщины уплотненного снега h на покрытии

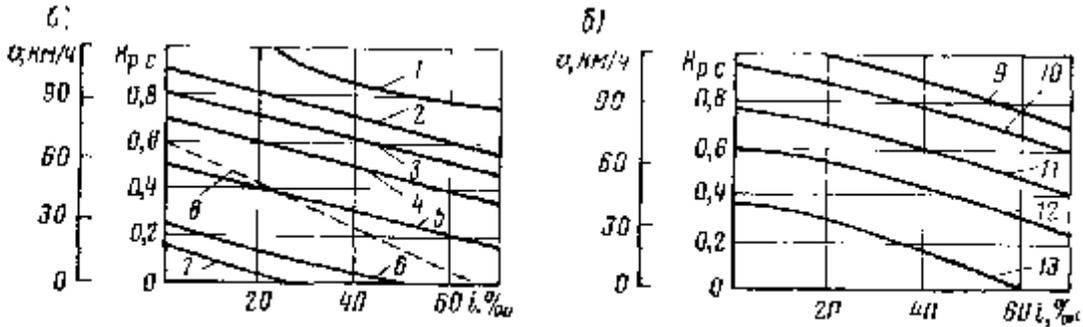
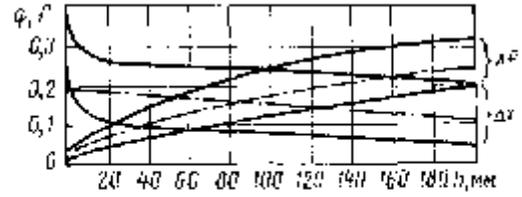


Рис. 3. Влияние продольного уклона и состояния покрытия на скорость движения: а—на подъеме; б—на спуске: 1—сухое чистое покрытие, $f=0,015$; 2—слой рыхлого снега, $h=25$ мм, $f=0,02$; 3—уплотненный слой снега, $f=0,04$; 4—слой рыхлого снега, $h=20$ мм, $f=0,09$; 5—то же, $h=40$ мм, $f=0,10$; 6—то же, $h=80$ мм, $f=0,15$; 7—то же, $h=10$ мм, $f=0,17$; 8—гололед на покрытии, $f=0,09$; 9—сухое чистое покрытие, $\phi=0,5-0,6$; 10—мокрое чистое покрытие, $\phi=0,4$; 11—мокрое, $\phi=0,3$; 12—снежный накат, $\phi=0,2$; 13—гололед, $\phi=0,1$

Значения максимальных возможных скоростей и коэффициентов обеспеченности расчетных скоростей в зависимости от фактически используемой для движения ширины укрепленной поверхности дороги приведены на рис. 4.

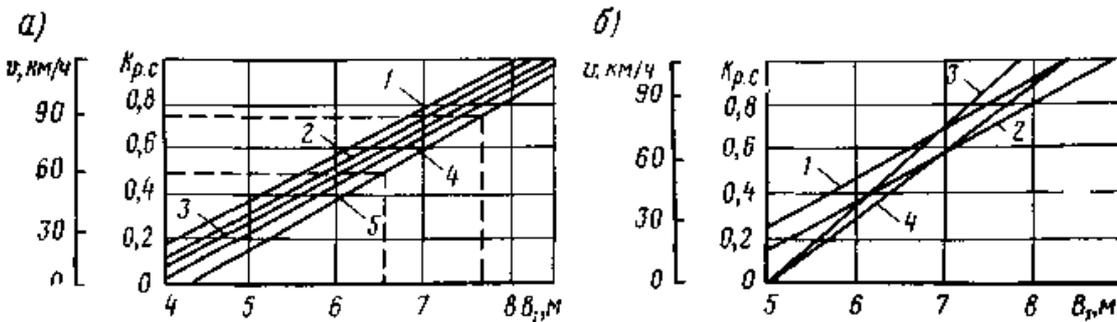


Рис. 4. Влияние ширины укрепления на скорость: а — для двухполосных дорог; б — для автомобильных магистралей; 1 — ВАЗ-2103 + ВАЗ-2103; 2 — ГАЗ-24 + ГАЗ-24; 3 — ЗИЛ-130 + ВАЗ-2103; 4 — ЗИЛ-130 + ГАЗ-24; 5 — ЗИЛ-130 + ЗИЛ-130

Коэффициент обеспеченности расчетной скорости, зависящий от радиуса кривой в плане, расчетного состояния покрытия и расчетной скорости ветра, можно определить по графикам (рис. 5 и 6).

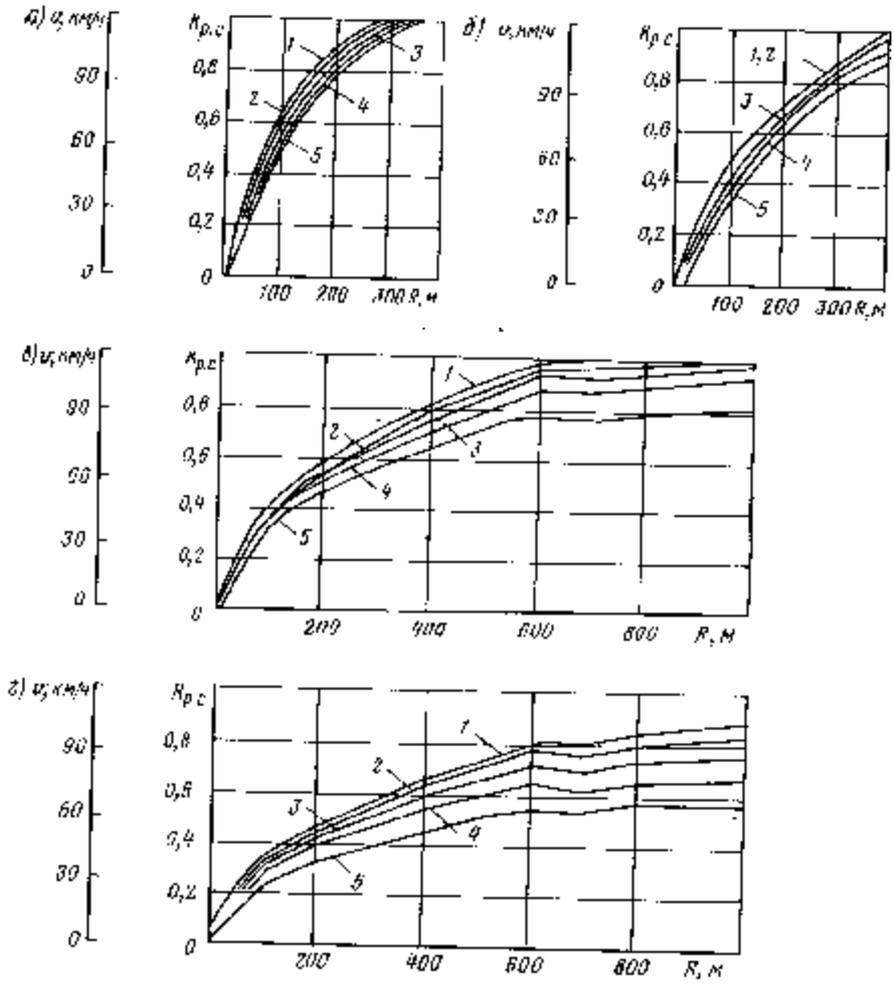


Рис. 5. Влияние радиуса кривой R в плане, состояния покрытия и скорости ветра на скорость автомобиля:
 а—сухое чистое покрытие, $\phi=0,6$; б—мокрое чистое покрытие, $\phi=0,4$; в—слой рыхлого снега или снежный накат на покрытии, $\phi=0,2$; г—гололед на покрытии, $\phi=0,12$: 1—скорость ветра 0—5 м/с; 2—20 м/с; 3—30 м/с; 4—40 м/с; 5—50 м/с

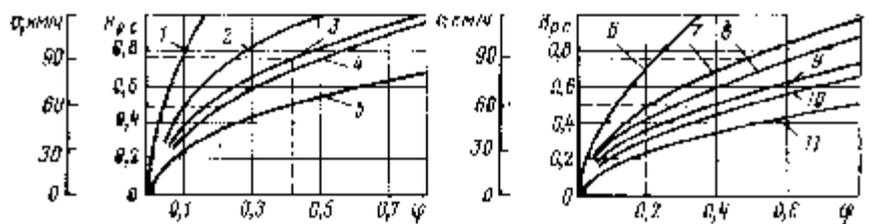


Рис. 6. Влияние коэффициента сцепления ϕ на снижение расчетных скоростей:
 а—по схеме торможения одиночного автомобиля; б — по схеме торможения встречных автомобилей: 1 — 750; 2—300; 3—200; 4—175; 5—100; 6—750; 7—350; 8—300; 9—200; 10 — 150; 11 — 100

Варианты заданий

Пример 1. Исходные данные: прямолинейный горизонтальный участок двухполосной дороги; состав движения: легковые автомобили — 20 %; грузовые — 65 %; автопоезда — 15 %. Проезжая часть покрыта плотным слоем снежного наката (коэффициент сцепления равен 0,3); слабый туман (видимость встречного автомобиля 350 м); загрузка дороги движением равномерная в обоих направлениях.

Пример 2. Исходные данные: прямолинейный участок двухполосной дороги со спуском в 40 %. Состав движения: легковые автомобили — 20 %; грузовые—65%, автопоезда—15%. Проезжая часть мокрая ($\phi=0,45$), состояние погоды — ясно; загрузка дороги движением равномерная в обоих направлениях.

Пример 3. Исходные данные: прямолинейный участок автомобильной магистрали с подъемом 20 %; состав движения: легковые автомобили — 20 %; грузовые — 65 %; автопоезда — 15 %. Проезжая часть покрыта слоем рыхлого снега ($\phi=0,2$), состояние погоды — сильный снегопад, загрузка дороги движением равномерная в обоих направлениях.

Пример 4. Исходные данные: горизонтальный участок двухполосной дороги на кривой в плане $R=400$ м; состав движения: легковые автомобили — 20 %; грузовые — 65 %; автопоезда — 15 %. Проезжая часть покрыта слоем снежного наката ($\phi=0,2$); загрузка дороги движением равномерная в обоих направлениях; состояние погоды — ясно, скорость ветра - 5 м/с.

Пример 5. Исходные данные: прямолинейный участок двухполосной дороги; состав движения: легковые автомобили — 20 %; грузовые — 65 %; автопоезда — 15 %; ширина проезжей части - 7,5 м (по 0,25 м от кромки - обледенелые прикромочные полосы); состояние погоды — ясно; загрузка дороги движением равномерная в обоих направлениях.

Выбор варианта задания	
Номер варианта	Номер примера
0	5
1	4
2	3
3	2
4	1
5	5
6	4
7	3
8	2
9	1

Лабораторная работа №2

ТЕМА. Подбор формул по данным опыта методом наименьших квадратов

ЦЕЛЬ. Изучить методику определения функциональной зависимости методом наименьших квадратов

Методические указания

В практической работе зависимость между переменными величинами часто получается в результате опыта (измерений). Обычно в этом случае зависимость оказывается заданной в виде таблицы. Функции, заданные таким образом, могут входить в дальнейшие операции и расчеты. Для удобства пользования такими зависимостями необходимо сначала подобрать формулу, хорошо описывающую опытные данные. Подбор такой формулы является существенной частью обработки экспериментальных данных. Одним из методов получения этих формул является способ наименьших квадратов.

Пусть в результате опытов найдены некоторые значения x_i , и соответствующие им значения y_i , которые заданы табл. 1.

Таблица 1

x	x_1	...	x_i	...	x_n
y	y_1	...	y_i	...	y_n

Требуется найти зависимость $y = f(x)$. Такой зависимостью может быть одна из следующих:

$$y = ax + b \text{ - линейная;}$$

$$y = bx^a \text{ - степенная;}$$

$$y = be^{ax} \text{ - показательная;}$$

$$y = b + a \ln x \text{ - логарифмическая;}$$

$$y = \frac{a}{x} + b \text{ - гиперболическая и т. д.}$$

Метод наименьших квадратов позволяет подобрать более точные значения параметров a и b . Предварительно необходимо установить общий вид аналитической функции, который можно выявить по опытным данным, если их нанести на плоскость с координатами xOy .

Зависимость Y от X , изображаемая аналитической функцией $Y = f(X)$, не может совпадать с экспериментальными значениями Y_i во всех n точках. Это означает, что для всех или некоторых точек имеем разность (рис. 1)

$$\Delta i = Y_i - f(X_i), \quad (1)$$

отличную от нуля.

Метод наименьших квадратов заключается в том, что подбираются параметры a и b таким образом, чтобы сумма квадратов разностей (1) (рис. 1) была наименьшей, т.е.

$$z = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2 = \sum [y_i - f(x_i)]^2 \rightarrow \min.$$

Пусть вид функции $y = f(x)$ установлен, то её можно представить в виде $Y = f(X) = \varphi(X, a, b)$, где a и b – искомые параметры.

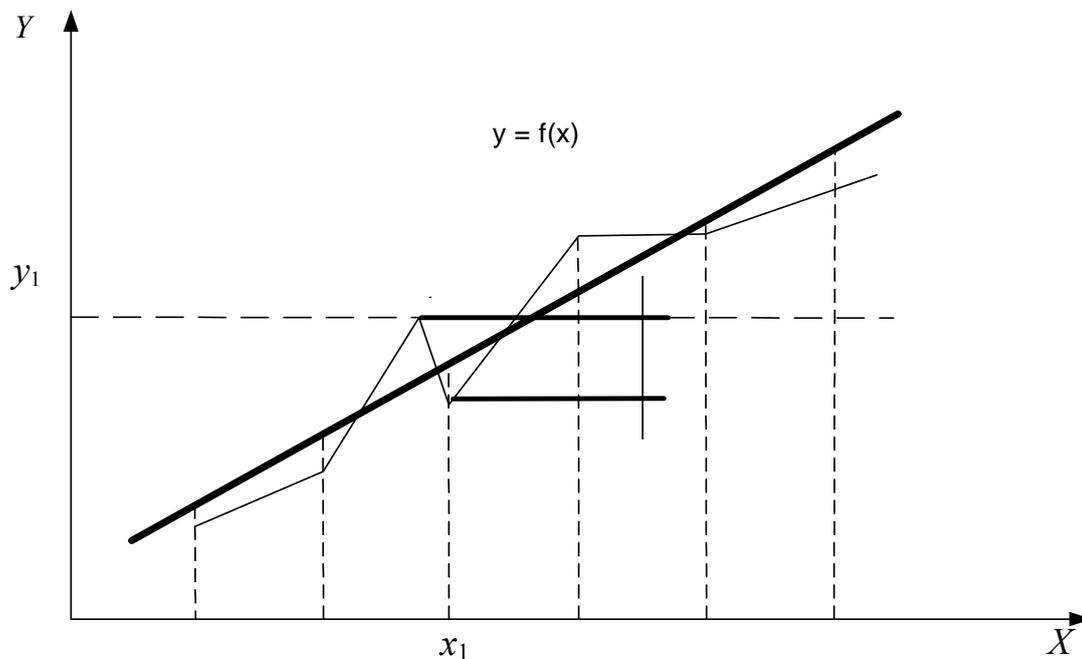


Рис. 1. Теоретическая и экспериментальная зависимости

Тогда

$$z = \sum [y_i - \varphi(x_i, a, b)]^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

Для нахождения минимума выражения (2) вычислим частные производные по аргументам a и b и приравняем эти производные к нулю, получим:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial z}{\partial a} &= 2 \sum [y_i - \varphi(x_i, a, b)] \varphi'_a(x_i, a, b) = 0 \\ \frac{\partial z}{\partial b} &= 2 \sum [y_i - \varphi(x_i, a, b)] \varphi'_b(x_i, a, b) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Система (3) содержит два уравнения с двумя неизвестными a и b . Решив систему, найдём значения параметров a и b . При найденных значениях параметров величина Z будет наименьшей, то есть, аналитическая зависимость будет наилучшим образом описывать экспериментальные данные.

Пример.

Пусть эмпирические данные необходимо описать линейной зависимостью $y = ax + b$, т.е. $\varphi(x, a, b) = ax + b$.

Тогда, согласно методу наименьших квадратов, запишем:

$$z = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2 \rightarrow \min. \quad (4)$$

Выбираем числа a и b так, чтобы величина z была наименьшей, для чего найдем частные производные выражения (4) по a и b , получим:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial z}{\partial a} &= 2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)(-x_i) = 0; \\ \frac{\partial z}{\partial b} &= 2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)(-1) = 0. \end{aligned} \right\}$$

Эти два условия дают нам следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \sum x_i y_i - a \sum x_i^2 - b \sum x_i &= 0; \\ \sum y_i - a \sum x_i - nb &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Из системы (5) получаем:

$$b = \frac{\sum y_i}{n} - \frac{a \sum x_i}{n}; \quad a = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}. \quad (6)$$

При решении уравнений (6), целесообразно представить промежуточные расчеты в виде табл. 2.

Таблица 2

i	X_i	Y_i	$X_i Y_i$	X_i^2
1	X_1	Y_1	$X_1 Y_1$	X_1^2
2	X_2	Y_2	$X_2 Y_2$	X_2^2
...
n	X_n	Y_n	$X_n Y_n$	X_n^2
Итого	$\sum X_i$	$\sum Y_i$	$\sum X_i Y_i$	$\sum X_i^2$

Примечание. Если нас интересует нелинейная зависимость, то проводя аналогичный расчет для выбранного типа функции, получим соответствующие выражения параметров a и b . Однако этого можно и не делать, если есть возможность перейти от нелинейной зависимости к линейной:

а) пусть $y = \frac{a}{x} + b$; заменим $\frac{1}{x} = x'$, получим линейную зависимость

$$y = ax' + b;$$

б) $y = b + a \ln x$; заменим $\ln x = x'$, получим $y = ax' + b$;

в) $y = b x^a$; логарифмируя, получим $\ln y = \ln b + a \ln x$.

Заменим $\ln y = y'$; $\ln b = b'$; $\ln x = x'$.

Имеем $y' = ax' + b'$.

г) $y = b e^{ax}$; логарифмируя, получим $\ln y = \ln b + ax$.

Полагая $\ln y = y'$; $\ln b = b'$, имеем $y' = b' + ax$.

Для линейных зависимостей коэффициенты a, a', b, b' находим из (6).

Сведение нелинейной регрессии к линейной выполняется с помощью линеаризующих преобразований в ходе ввода X_i, Y_i и при выводе a и b (см. табл.3).

Таблица 2.3- Преобразования, сводящие нелинейную регрессию к линейной

№	Функция $Y(X)$	X'	Y'
1	$a + bX$	X	Y
2	$1/(a + bX)$	X	$1/Y$
3	$\text{EXP}(a + bX)$	X	$\text{LOG}(Y)$
4	$a + b/X$	$1/X$	Y
5	$X/(b + aX)$	$1/X$	$1/Y$
6	$\text{EXP}(a + b/X)$	$1/X$	$\text{LOG}(Y)$
7	$a + b\text{LOG}(X)$	$\text{LOG}(X)$	Y
8	$1/[a + b\text{LOG}(X)]$	$\text{LOG}(X)$	$1/Y$
9	$\text{EXP}[a + b\text{LOG}(X)]$	$\text{LOG}(X)$	$\text{LOG}(Y)$

Практическая часть

Используя опытные данные таблицы, рассчитать коэффициенты парной регрессии с помощью ручного счета и ЭВМ. Привести графики теоретической и экспериментальной зависимостей.

Вариант №1

X_i	Y_i
1	3,88
2	3,86
3	3,84
4	3,81
5	3,71
6	3,49
7	3,51
8	3,68
9	3,74
10	3,47
11	3,6
12	3,51
13	3,48
14	3,3
15	3,23
16	3,26
17	3,14
18	3,17
19	2,96
20	2,81

Вариант №3

1	4,08
2	4,18
3	4,38
4	4,46
5	4,44
6	4,55
7	4,67
8	4,89
9	4,86
10	5,04
11	5,22
12	4,99
13	5,39
14	5,56
15	5,42
16	5,85
17	5,99
18	5,85
19	6,01
20	5,97

Вариант №2

X_i	Y_i
1	4,5
2	5
3	3,7
4	5,2
5	6,4
6	7,8
7	6,2
8	5,8
9	8,2
10	8,9
11	9,5
12	8,4
13	8,2
14	10
15	11
16	11,2
17	10,5
18	12
19	12,5
20	12,7

Вариант №4

1	3,9
2	3,82
3	3,6
4	3,47
5	3,31
6	3,05
7	3,14
8	2,89
9	2,66
10	2,53
11	2,35
12	2,49
13	2,19
14	1,82
15	1,69
16	1,54
17	1,22
18	1,17
19	1,04
20	1,12

Вариант №5

X_i	Y_i
1	4,03
2	4,23
3	4,49
4	4,71
5	5
6	5,26
7	5,35
8	5,87
9	5,67
10	5,89
11	6,16
12	6,65
13	6,39
14	6,81
15	7,08
16	7,24
17	7,61
18	7,64
19	8,03
20	7,92

Вариант №7

1	5,998
2	5,82
3	5,754
4	5,828
5	5,627
6	5,597
7	5,693
8	5,469
9	5,413
10	5,526
11	5,344
12	5,304
13	5,352
14	5,301
15	5,424
16	4,966
17	5,08
18	5,256
19	5,09
20	5,053

Вариант №6

X_i	Y_i
1	3,82
2	3,44
3	3,16
4	2,95
5	2,73
6	2,4
7	2,27
8	1,85
9	1,88
10	1,32
11	1,18
12	1,15
13	0,85
14	0,48
15	0,18
16	-0,01
17	-0,12
18	-0,6
19	-0,68
20	-0,54

Вариант №8

1	6,03
2	6,072
3	6,297
4	6,428
5	6,425
6	6,473
7	6,592
8	6,815
9	6,786
10	6,925
11	7,116
12	7,053
13	7,224
14	7,439
15	7,302
16	7,426
17	7,797
18	7,871
19	7,929
20	8,06

Лабораторная работа №3

ТЕМА. Безопасные скорости автомобиля в конфликте с пешеходом

ЦЕЛЬ. Рассмотреть методы определения безопасных скоростей и причины редкого применения их в экспертной практике.

Методические указания

Скорость является важнейшим показателем дорожного движения.

Управляя автомобилем, водитель обычно выбирает режим движения исходя из двух критериев:

- 1) минимальной затраты времени;
- 2) максимальной безопасности движения. Эти критерии противоречивы, и превышение допустимого предела скорости является одной из наиболее распространенных причин ДТП.

В автотехнической экспертизе есть понятия безопасных скоростей автомобиля. Но в экспертной практике их расчет практически не применяют, потому что:

- 1) отсутствуют необходимые методики ВНИИСЭ;
- 2) безопасные скорости не являются доказательством в суде, по ряду субъективных причин.

«Безопасной» назовем такую скорость автомобиля, следуя с которой водитель в момент возникновения опасной дорожной обстановки имеет техническую возможность тем или иным способом предотвратить наезд. При прямолинейном движении водитель может обеспечить безопасность одним из следующих способов:

1. Остановить автомобиль до линии следования пешехода;
2. Пересечь линию следования пешехода, проехав перед ним раньше, чем он достигнет полосы движения автомобиля;
3. Пропустить пешехода перед автомобилем. При этом пешеход переходит полосу движения автомобиля раньше, чем тот достигнет линии следования пешехода.

Примем, что опасная дорожная обстановка возникает в момент пересечения пешеходом некоторой линии — границы опасной зоны.

Расстояние между пешеходом и автомобилем в момент возникновения опасной обстановки обычно называют удалением автомобиля и обозначают $S_{уд}$. Первой безопасной скоростью (V_{61}) автомобиля называют минимальную скорость, следуя с которой водитель может, своевременно применив экстренное торможение, остановить автомобиль у линии следования пешехода.

Значение первой безопасной скорости получаем, приравняв удаление длине остановочного пути:

$$V_{61} = -T \cdot j + \sqrt{T^2 \cdot j^2 + 2 \cdot S_{уд} \cdot j}, \quad (1)$$

где T — время срабатывания тормозной системы, с; j — замедление автомобиля, м/с^2 .

Первая безопасная скорость зависит лишь от показателей, характеризующих водителя, автомобиль и дорогу. В экспертной практике

формулу (1) иногда применяют для определения скорости, с которой водитель обязан был вести автомобиль, чтобы избежать наезда на пешехода.

Второй безопасной скоростью автомобиля (V_{62}) называют минимальную скорость, следуя с которой автомобиль полностью проедет линию следования пешехода в момент, когда тот подойдет к его полосе движения.

На рис. 1, а представлена схема для определения второй безопасной скорости. Вторая безопасная скорость автомобиля определяется по формуле:

$$V_{62} = \frac{(S_{y\partial} + L_a) \cdot V_a}{\Delta y}, \quad (2)$$

где L_a - длина автомобиля, м; Δy — боковой интервал, м.

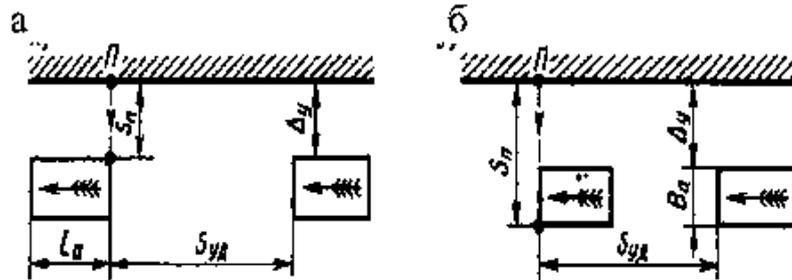


Рис. 1. Схемы к расчету второй (а) и третьей (б) безопасных скоростей автомобиля

В этом случае для сохранения безопасности должно быть выполнено условие $V_a \geq V_{62}$. Значение второй безопасной скорости увеличивается с увеличением расстояния $S_{y\partial}$ и скорости пешеходов, а также с уменьшением бокового интервала Δy . При небольших значениях Δy , характерных для движения по узким улицам городов и населенных пунктов, скорость V_{62} должна быть весьма большой. Поэтому такой способ обеспечения безопасности нежелателен, а при малых значениях Δy и невозможен, так как расчетное значение V_{62} может превысить не только установленные ограничения, но и максимально возможную скорость данного автомобиля.

Третьей безопасной скоростью автомобиля V_{63} называют максимальную скорость, двигаясь с которой, автомобиль достигнет линии следования пешехода к тому моменту, когда пешеход уже уйдет с его полосы движения. Схема для определения третьей безопасной скорости представлена на рис. 1, б.

Третья безопасная скорость:

$$V_{63} = \frac{S_{y\partial} \cdot V_a}{(\Delta y + B_a)}, \quad (3)$$

где B_a — ширина автомобиля, м.

В этом случае условие безопасности: $V_a \leq V_{63}$. Четвертой безопасной скоростью автомобиля V_{64} называют максимальную скорость, при которой водитель, своевременно применив экстренное торможение, успевает пропустить пешехода. Автомобиль при этом не останавливается у линии следования пешехода и пересекает ее с некоторой скоростью V_H .

Четвертая безопасная скорость:

$$V_{64} = \frac{2 \cdot S_{y\partial} + (t_n + T^2) \cdot j}{2 \cdot t_n} = V_{63} + \frac{(t_n - T^2) \cdot j}{2 \cdot t_n}. \quad (4)$$

При $t_n < T$ четвертая безопасная скорость равна третьей, а при $V_H = 0$ - первой безопасной скорости. Чем менее интенсивно тормозит водитель, тем меньше должна быть начальная скорость автомобиля, чтобы пропустить пешехода. Когда замедление отсутствует, четвертая безопасная скорость становится равной скорости V_{63} .

Пятой безопасной скоростью автомобиля V_{65} называют такую скорость, следуя с которой, водитель, даже применив экстренное торможение в момент возникновения опасности, успевает проехать мимо пешехода.

Пятая безопасная скорость:

$$V_{65} = \frac{2 \cdot (S_{y0} + L_a) + (t_n - T)^2 \cdot j}{2 \cdot t_n} = V_{62} + \frac{(t_n - T)^2}{2 \cdot t_n}, \quad (5)$$

где t_n - время движения пешехода, с.

Численное значение пятой безопасной скорости обычно велико и часто близко к значению максимально возможной скорости автомобиля.

Чтобы сравнить между собой различные способы сохранения безопасности при прямолинейном движении автомобиля, нанесем кривые $V=V(\Delta y)$ для всех безопасных скоростей на один график, изображенный на рис. 2.

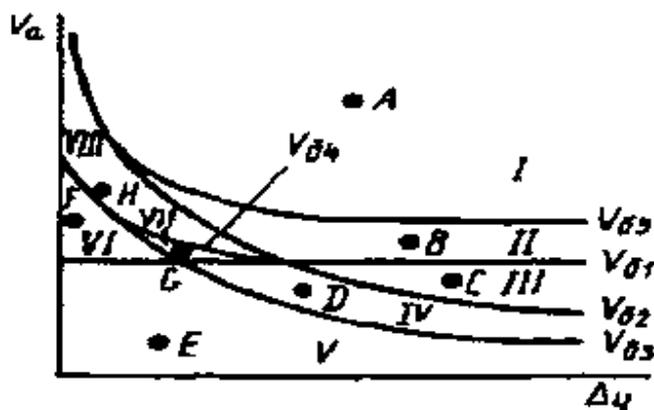


Рис. 2. Сводный график безопасных скоростей автомобиля

Все поле графика можно разделить на восемь зон (I—VIII). Для каждой из зон характерны свои способы обеспечения безопасности и положения автомобиля после остановки. Так, при сочетаниях интервала Δy и скорости, характеризуемых зонами I—III, водитель проедет мимо пешехода, не снижая скорости. В первой зоне (точка A) и третьей зоне (точка C) можно также применить экстренное торможение. В первом случае заторможенный автомобиль, проехав мимо пешехода, остановится за линией его следования, а во втором - до этой линии. В зоне II (точка B) экстренное торможение приведет к наезду на пешехода. В зонах IV и VII, напротив, единственным средством обеспечения безопасности является своевременное экстренное торможение (точки D и G). При значениях интервала и скорости, охватываемых этими зонами, равномерное движение автомобиля не предотвращает наезда на пешехода. Водитель не может ни пропустить пешехода ($V_a > V_{63}$), ни проехать мимо него ($V_a < V_{62}$). В зонах V (точка E) и VI (точка F) пешеход успевает перейти полосу движения автомобиля при $V_a = \text{const}$. В случае своевременного экстренного торможения автомобиль останавливается либо после пересечения линии следования пешехода (зона VI), либо до нее (зона V). Наконец, зона VIII (точка H)

характеризует сочетание таких условий движения, при которых водитель не имеет технической возможности предотвратить ДТП, не изменяя направления движения автомобиля.

Среди рассмотренных зон наибольший интерес представляет зона II. При интервале и скорости, характерных для этой зоны, экстренное торможение автомобиля, в противовес установившемуся мнению, не только не обеспечит требуемой безопасности, но, напротив, приведёт к неизбежному наезду на пешехода. В этом случае водитель, выполняющий указания Правил дорожного движения, которые предписывают снижение скорости при появлении препятствия, не ликвидирует, а усугубляет опасную дорожную обстановку. Снижение скорости, вызываемое интенсивным торможением, способствует перерастанию опасной дорожной обстановки в аварийную, и наезд на пешехода становится неотвратимым.