

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 13.03.2023 10:54:40  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра технологии материалов и транспорта

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
« 13 » 03 2021 г.



## БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Методические указания к практическим занятиям  
и самостоятельной работе  
для студентов специальности  
23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

Курск 2021

УДК 656.13

Составитель: Б. А. Семенихин

Рецензент

Кандидат химических наук, доцент кафедры технологии материалов и транспорта *Кузнецова Л.П.*

**Безопасность дорожного движения** [Текст]: методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Б. А. Семенихин. Курск, 2021. 42 с.: ил. 14, табл. 4, прилож. 1. Библиогр. 5: с. 41.

Представлены общие сведения по решению задач по дисциплине «Организация автомобильных перевозок и безопасность движения». Приведены основные методы решения задач, перечень основных уравнений и символов, даны расчётные и графические обоснования с использованием нормативно-правовых данных, что помогает усвоить и глубже понять теоретические положения курса.

Предназначены для студентов очной и заочной форм обучения специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства.

Текст печатается в авторской редакции.

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. . Тираж 100 экз. Заказ . Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ .....	6
1 ТОРМОЗНЫЕ КАЧЕСТВА И СКОРОСТЬ АВТОМОБИЛЯ .....	7
Анализ тормозных качеств автомобиля с использованием .....	7
диаграммы торможения.....	7
Скорость автомобиля перед началом экстренного торможения .....	9
и при столкновении .....	9
Задачи для самостоятельного решения .....	11
2 СЛОЖНЫЕ СЛУЧАИ СКОЛЬЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ ПРИ .....	13
ТОРМОЖЕНИИ.....	13
Одновременное скольжение по различным поверхностям дороги .	13
Последовательное скольжение по различным .....	14
поверхностям дороги .....	14
Скольжение автомобиля на боку или на крыше .....	15
Задачи для самостоятельного решения .....	15
3 ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЯ НА КРИВОЛИНЕЙНЫХ	
УЧАСТКАХ ДОРОГ .....	17
Боковое скольжение и опрокидывание автомобиля на	
криволинейном участке дороги без поперечного уклона .....	18
Боковое скольжение и опрокидывание автомобиля на	
криволинейном участке дороги с поперечным уклоном .....	20
Задачи для самостоятельного решения .....	21
4 СТОЛКНОВЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ .....	23
Попутное столкновение автомобилей .....	23
Встречное столкновение автомобилей .....	24
Перекрёстное столкновение автомобилей .....	25
Определение момента выезда автомобиля на перекрёсток .....	27
Задачи для самостоятельного решения .....	28
5 НАЕЗД НА ПЕШЕХОДА ПРИ РАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ И	
НЕОГРАНИЧЕННОЙ ВИДИМОСТИ .....	30
Удар пешехода боковой поверхностью автомобиля (рисунок 12) ..	30
Удар пешехода передней поверхностью автомобиля (рисунок 13) ..	31
Удар пешехода передним углом автомобиля.....	32
Задачи для самостоятельного решения .....	33

6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДОРОГИ.....	35
Пропускная способность полосы .....	35
Пропускная способность многополосных дорог.....	38
Пропускная способность регулируемых пересечений.....	39
Пропускная способность пешеходных путей .....	39
Задачи для самостоятельного решения .....	40
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	41
ПРИЛОЖЕНИЕ – Форма титульного листа отчёта по практическим работам .....	42

## ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемые методические указания составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Организация автомобильных перевозок и безопасность движения».

Рассмотрены тормозные качества и определение скорости автомобиля при торможении, сложные случаи скольжения автомобиля при торможении по различным дорожным покрытиям, движение автомобиля на криволинейных участках дорог, различные виды столкновений автомобилей, а также наезды на пешеходов при равномерном движении автомобиля и неограниченной видимости.

При изучении курса в высших учебных заведениях большое значение имеет приобретение навыков в решении задач, что является одним из критериев прочного усвоения курса.

Методические указания содержат задания для студентов на выполнение практических и самостоятельных работ с методическими рекомендациями по их выполнению.

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

В процессе изучения дисциплины «Организация автомобильных перевозок и безопасность движения» каждый студент должен выполнить практические работы.

При выполнении практических работ используется литература, рекомендуемая по курсу, методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе, а также конспект лекций.

Каждая практическая работа состоит из нескольких многовариантных задач. Вариант соответствует порядковому номеру студента по списку академической группы.

Практические работы оформляются на листах писчей бумаги формата А4. Все листы, начиная с титульного, нумеруются. Форма титульного листа отчёта по практическим работам представлена в приложении.

Изложение практической работы должно быть кратким, логичным, чётким, призванным дать обоснование принятым решениям. Сокращение слов в тексте не допускается. Значение символов и числовых коэффициентов, входящих в формулы, должны быть приведены непосредственно под формулой. Графические изображения могут быть выполнены на миллиметровой бумаге.

Практические занятия, выполненные не по вариантам и не по установленной форме, к защите не принимаются.

# 1 ТОРМОЗНЫЕ КАЧЕСТВА И СКОРОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

## Анализ тормозных качеств автомобиля с использованием диаграммы торможения

Тормозные качества автомобиля характеризуются величиной замедления, развиваемой им при экстренном торможении. Запись процесса изменения замедления осуществляется на диаграмму торможения, которая служит основой для получения исходных данных, используемых при расчёте максимального замедления, времени замедления, тормозного и остановочного путей. При изучении торможения часто надо знать, как изменяется скорость движения автомобиля за время торможения. С этой целью используют обобщённую теоретическую диаграмму торможения, объединяющую процессы изменения замедления и скорости автомобиля (рисунок 1).

Пути, проходимые автомобилем за соответствующие отрезки времени  $t$ :

- путь за время реакции водителя:

$$S_1 = V_0 \cdot t_1, \text{ м}; \quad (1)$$

- путь за время запаздывания срабатывания тормозного привода:

$$S_2 = V_0 \cdot t_2, \text{ м}; \quad (2)$$

- путь за время нарастания замедления:

$$S_3 = 0,5 \cdot V_0 \cdot t_3, \text{ м}; \quad (3)$$

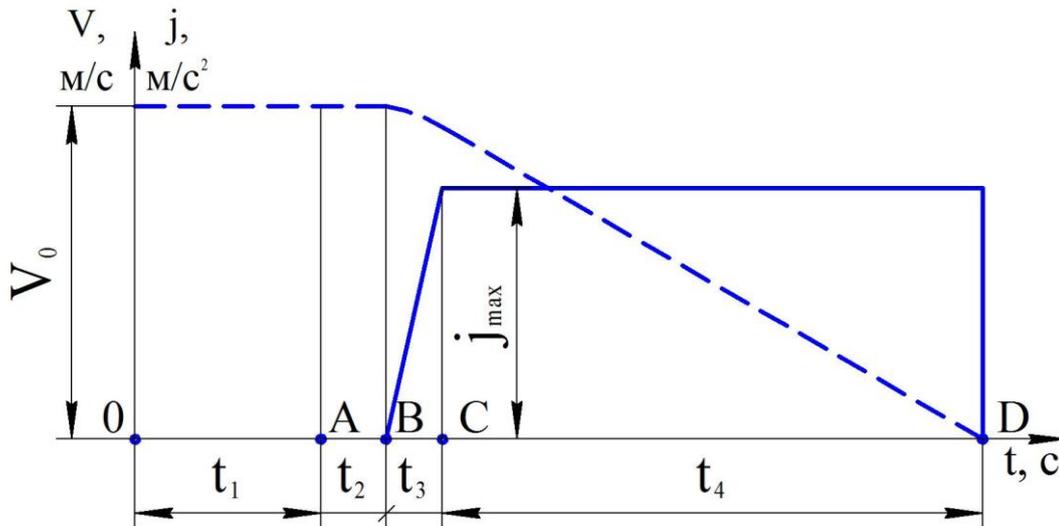
- путь за время торможения с максимальным установившимся замедлением (длина пути скольжения колёс):

$$S_4 = \frac{V_0^2}{2 \cdot j_{\max}}, \text{ м}. \quad (4)$$

Максимальное установившееся замедление:

$$j_{\max} = g \cdot \varphi, \text{ м/с}^2; \quad (5)$$

где  $\varphi$  – коэффициент сцепления шин с поверхностью дорожного покрытия (таблица 1).



----- – процесс изменения скорости движения; ———— – процесс изменения замедления; 0 – момент времени, когда водитель заметил опасность; А – момент нажатия водителем на педаль тормоза; В – момент начала касания поверхностей колодок тормозных дисков; С – момент полного прижатия колодок к дискам; D – момент остановки автомобиля;  $t_1$  – время реакции водителя, с;  $t_2$  – время запаздывания срабатывания тормозного привода, с;  $t_3$  – время нарастания замедления, с;  $t_4$  – время торможения с максимальным установившимся замедлением, с;  $V_0$  – скорость движения автомобиля перед началом торможения, м/с;  $j_{\max}$  – максимальное установившееся замедление, м/с<sup>2</sup>.

Рисунок 1 – Диаграмма торможения автомобиля

Таблица 1 – Коэффициенты сцепления шин с различными дорожными покрытиями

Покрытие дороги	Коэффициент сцепления	
	на сухом покрытии	на мокром покрытии
Асфальтобетонное	0,8–0,9	0,4–0,5
Щебёночное	0,6–0,7	0,3–0,4
Грунтовое	0,5–0,6	0,3–0,4
Гравийное	0,5–0,6	0,3–0,4
Глина	0,5–0,6	0,2–0,4
Песок	0,5–0,6	0,4–0,5
Уплотнённое снежное	0,2–0,3	0–0,1
Обледенелое	0–0,1	0–0,1

Следовательно, длина пути скольжения колёс:

$$S_4 = \frac{V_0^2}{2 \cdot g \cdot \varphi}, \text{ м.} \quad (6)$$

Тормозной путь автомобиля:

$$S_T = S_2 + S_3 + S_4, \text{ м.} \quad (7)$$

Остановочный путь автомобиля, м:

$$S_{\text{ост}} = S_1 + S_2 + S_3 + S_4, \text{ м.} \quad (8)$$

### Скорость автомобиля перед началом экстренного торможения и при столкновении

Следы скольжения шин по поверхности дороги дают возможность рассчитать скорость, с которой двигался автомобиль перед началом торможения:

$$V_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi \cdot S_4}, \text{ м/с} \quad (9)$$

Формула (3) применяется при следующих условиях:

- торможение происходит на горизонтальном участке дороги;
- все колёса автомобиля оборудованы тормозами;
- автомобиль при всех одновременно заблокированных колёсах скользит по дороге до полной остановки.

Уклон дороги оказывает влияние на величину тормозного пути. Уклон дороги выражается в процентах. Например (рисунок 2), уклон дороги 3 % обозначает подъём или спуск 3 м по вертикали на каждые 100 м горизонтального участка. Для данного уклона:  $\text{tg}\alpha = 0,03$ ;  $\alpha = \text{arctg}0,03$ .

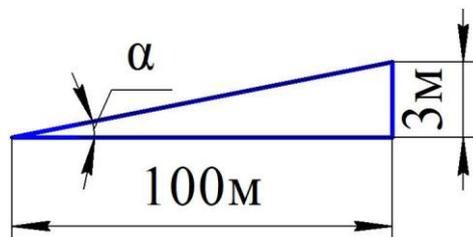


Рисунок 2 – Уклон дороги 3 %

Длина пути скольжения колёс автомобиля, движущегося на уклоне («+» – на подъёме, «-» – на спуске):

$$S_4 = \frac{V_0^2}{2 \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot (\varphi \pm \operatorname{tg} \alpha)}, \text{ м.} \quad (10)$$

При уклоне дороги до 10 % значения  $\cos \alpha$  близки к 1. Учитывая это, получаем формулу для определения скорости автомобиля перед началом торможения при движении на уклоне:

$$V_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (\varphi \pm \operatorname{tg} \alpha) \cdot S_4}, \text{ м/с.} \quad (11)$$

При эксплуатации автомобилей бывает, вследствие неправильной регулировки или неисправности колёсных тормозных механизмов, тормозят не все колёса, т. е. эффективность торможения снижается. При этом часть массы автомобиля не участвует в создании силы сцепления. А та часть массы, которая участвует в создании силы сцепления, характеризуется коэффициентом  $\eta$ , показывающим степень эффективности тормозов. Величина  $\eta$  изменяется от 0 до 1 (таблица 2).

Таблица 2 – Коэффициент эффективности тормозов

Состояние колёсных тормозных механизмов	$\eta$
Тормозят все четыре колеса	1
Тормозят два передних и одно заднее колесо	0,8
Тормозят одно переднее и два задних колеса	0,7
Тормозят два передних колеса	0,6
Тормозят одно переднее и одно заднее колесо	0,5
Тормозят два задних колеса	0,4
Тормозит одно переднее колесо	0,3
Тормозит одно заднее колесо	0,2

Длина пути скольжения колёс автомобиля при частичной эффективности тормозов:

$$S_4 = \frac{V_0^2}{2 \cdot g \cdot \varphi \cdot \eta}, \text{ м.} \quad (12)$$

Скорость движения автомобиля перед началом торможения:

$$V_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi \cdot S_4 \cdot \eta}, \text{ м/с.} \quad (13)$$

При определении  $S_4$  и  $V_0$  для автомобилей, движущихся на уклоне, в случае если  $\eta < 1$ , в формулы 10 и 11 подставляется

соответствующее значение  $\eta$ .

Скорость движения автомобиля в момент столкновения:

$$V = \sqrt{V_0^2 - 2 \cdot g \cdot \varphi \cdot S_4}, \text{ м/с.} \quad (14)$$

Время снижения скорости автомобиля от значения  $V_0$  до  $V$  при определённой величине замедления при торможении:

$$t = \frac{V_0 - V}{j}, \text{ с;} \quad (15)$$

где  $j$  – замедление автомобиля,  $\text{м/с}^2$ .

Зная начальную скорость движения автомобиля и величину его замедления, можно определить скорость движения в любой момент времени  $t$ :

$$V = V_0 - j \cdot t, \text{ м/с.} \quad (16)$$

Путь, пройденный автомобилем при торможении за время  $t$ :

$$S = V_0 \cdot t - \frac{j \cdot t^2}{2}, \text{ м.} \quad (17)$$

### Задачи для самостоятельного решения

#### Задача 1

Определить тормозной и остановочный пути автомобиля, движущегося со скоростью  $(50 + 2 \cdot X)$  км/ч на мокром асфальтобетонном покрытии, если время реакции водителя – 1 с, время запаздывания срабатывания тормозного привода – 0,3 с, время нарастания замедления – 0,5 с.

#### Задача 2

При расследовании ДТП установлено, что при торможении на сухом асфальтобетонном покрытии автомобиль, причастный к ДТП, оставил следы скольжения колёс длиной  $(20 + 2 \cdot X)$  м. Определить скорость движения автомобиля перед началом торможения.

#### Задача 3

При торможении на подъёме в 12 % длина следов скольжения колёс автомобиля составила 60 м, причём автомобиль тормозил двумя передними колёсами. Скорость движения автомобиля перед началом торможения была  $(50 + 2 \cdot X)$  км/ч. Определить

коэффициент сцепления шин с дорожным покрытием.

#### Задача 4

Определить скорость движения автомобиля перед началом экстренного торможения по сухому асфальтобетонному покрытию, на котором были оставлены следы скольжения колёс длиной  $(20 + 2 \cdot X)$  м, если у автомобиля не работали тормозные механизмы передних колёс, а скорость автомобиля в момент столкновения была 30 км/ч.

#### Задача 5

Определить во сколько раз длина следов скольжения колёс автомобиля на сухом асфальтобетонном покрытии будет меньше, чем на сухом снежном.

#### Задача 6

Определить путь, пройденный автомобилем при торможении за 3 с, и его конечную скорость движения, если тормозные силы на колёсах создали замедление  $4 \text{ м/с}^2$ , а скорость движения автомобиля при срабатывании тормозной системы была  $(50 + 2 \cdot X)$  км/ч.

## 2 СЛОЖНЫЕ СЛУЧАИ СКОЛЬЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ТОРМОЖЕНИИ

### Одновременное скольжение по различным поверхностям дороги

При торможении автомобиля часто случается, что колёса одновременно скользят по дорожной поверхности с различными коэффициентами сцепления. Например, по покрытию проезжей части и обочине (рисунок 3, а). В случае, когда два левых колеса скользят по твёрдому покрытию проезжей части, а два правых – по обочине, скорость движения автомобиля перед началом торможения определяется по формуле

$$V_0 = \sqrt{g \cdot (\varphi_1 + \varphi_2) \cdot S_4}, \text{ м/с}; \quad (18)$$

где  $\varphi_1$  – коэффициент сцепления шин с покрытием проезжей части;

$\varphi_2$  – коэффициент сцепления шин с покрытием обочины;

$S_4$  – длина следов скольжения колёс, м.

Если в этих условиях торможения коэффициент сцепления под левыми колёсами будет больше чем под правыми, то может возникнуть вращение автомобиля против часовой стрелки (рисунок 3, б). Центр тяжести автомобиля, несмотря на это, будет перемещаться в прямом направлении. Поэтому, следует иметь ввиду, что вращение автомобиля не повлияет на результаты измерения длины следов скольжения, которое ведётся по прямой от начала до конца скольжения колёс автомобиля.

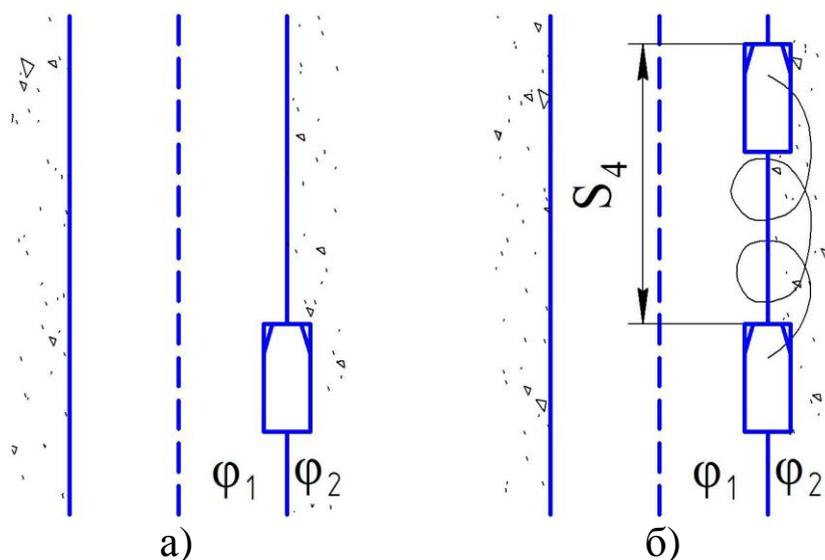


Рисунок 3 – Одновременное скольжение автомобиля по различным поверхностям дороги

### Последовательное скольжение по различным поверхностям дороги

Примером такого скольжения является случай, когда автомобиль при экстренном торможении начал скользить по поверхности проезжей части, а закончил на обочине (рисунок 4). При этом коэффициенты сцепления шин с обеими поверхностями имеют различные значения. Скорость движения автомобиля перед началом торможения:

$$V_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (\varphi_1 \cdot S'_4 + \varphi_2 \cdot S''_4)}, \text{ м/с;} \quad (19)$$

где  $\varphi_1$  – коэффициент сцепления шин с покрытием проезжей части;

$\varphi_2$  – коэффициент сцепления шин с покрытием обочины.

$S'_4$  – длина следов скольжения колёс по поверхности проезжей части, м;

$S''_4$  – длина следов скольжения колёс по поверхности обочины, м.

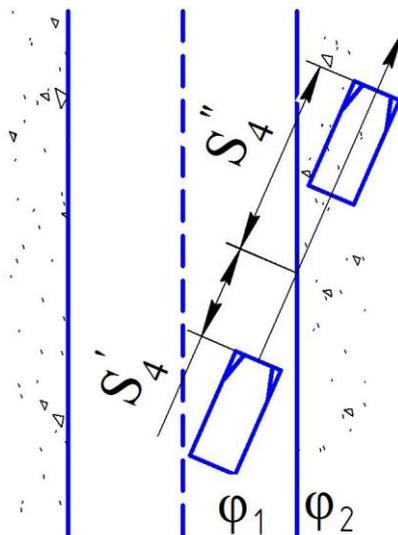


Рисунок 4 – Последовательное скольжение автомобиля по различным поверхностям дороги

Аналогичным образом можно записать формулу для определения скорости движения автомобиля перед началом торможения для случая скольжения автомобиля по трём и более различным поверхностям дороги:

$$V_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot (\varphi_1 \cdot S'_4 + \varphi_2 \cdot S''_4 + \varphi_3 \cdot S'''_4)}, \text{ м/с.} \quad (20)$$

## Скольжение автомобиля на боку или на крыше

Иногда при ДТП происходит опрокидывание автомобиля и его скольжение на боку или крыше по поверхности дороги. В этом случае при расчёте скорости движения автомобиля перед началом торможения необходимо знать дополнительные значения коэффициента сцепления (таблица 3).

Таблица 3 – Коэффициент сцепления

Поверхности скольжения	$\varphi$
Сталь по асфальту	0,45
Сталь по грунту, гравию, щебню	0,35
Сталь по траве	0,25

### Задачи для самостоятельного решения

#### Задача 1

Автомобиль оставил следы скольжения колёс длиной 60 м одновременно на проезжей части дороги и обочине. Определить коэффициент сцепления шин с покрытием проезжей части, если коэффициент сцепления шин с поверхностью обочины – 0,2, а скорость движения автомобиля перед началом торможения –  $(50 + 2 \cdot X)$  км/ч.

#### Задача 2

При расследовании ДТП, произошедшего в населённом пункте, было выявлено, что автомобиль, участвующий в ДТП, оставил следы скольжения колёс длиной  $(10 + 2 \cdot X)$  м сначала на сухой асфальтобетонной проезжей части дороги, а затем – длиной 5 м на мокрой грунтовой обочине. Определить, превысил ли водитель автомобиля максимально разрешенную скорость движения.

#### Задача 3

При ДТП на сухой дороге автомобиль оставил следы скольжения колёс длиной  $(10 + 2 \cdot X)$  м по асфальтобетонному покрытию проезжей части, а затем длиной 9 м по грунтовой обочине. Затем автомобиль перевернулся на крышу и оставил следы скольжения поверхностью крыши по обочине длиной 7 м.

Определить скорость движения автомобиля перед началом торможения.

#### Задача 4

Легковой автомобиль двигался со скоростью  $(50 + 2 \cdot X)$  км/ч по сухой асфальтобетонной дороге. Пытаясь предотвратить встречное столкновение с грузовым автомобилем, он начал экстренное торможение, оставив на проезжей части следы скольжения колёс длиной  $(10 + 2 \cdot X)$  м. Однако касательного столкновения избежать не удалось. Легковой автомобиль перевернулся на бок и оставил следы скольжения на проезжей части длиной 10 м. Далее автомобиль в перевёрнутом состоянии продолжал скользить по грунтовой обочине. Определить длину следов скольжения легкового автомобиля по поверхности обочины.

#### Задача 5

Определить коэффициент сцепления шин с покрытием проезжей части дороги, если при торможении автомобиль оставил следы скольжения колёс длиной 30 м на проезжей части, а затем – длиной 5 м на сухой грунтовой обочине. Скорость движения автомобиля перед началом торможения –  $(50 + 2 \cdot X)$  км/ч.

#### Задача 6

При экстренном торможении на сухой дороге автомобиль оставил следы скольжения колёс длиной  $(10 + 2 \cdot X)$  м одновременно на асфальтобетонной проезжей части и грунтовой обочине, а затем – длиной 10 м только на обочине, причём автомобиль тормозил двумя передними колёсами. Определить скорость движения автомобиля перед началом торможения.

### 3 ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЯ НА КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКАХ ДОРОГ

Дорога, имеющая криволинейный участок, характеризуется радиусом поворота. Действительный радиус поворота автомобиля определяется отдельно для наружной (относительно центра поворота) и внутренней полосы движения (рисунок 5).

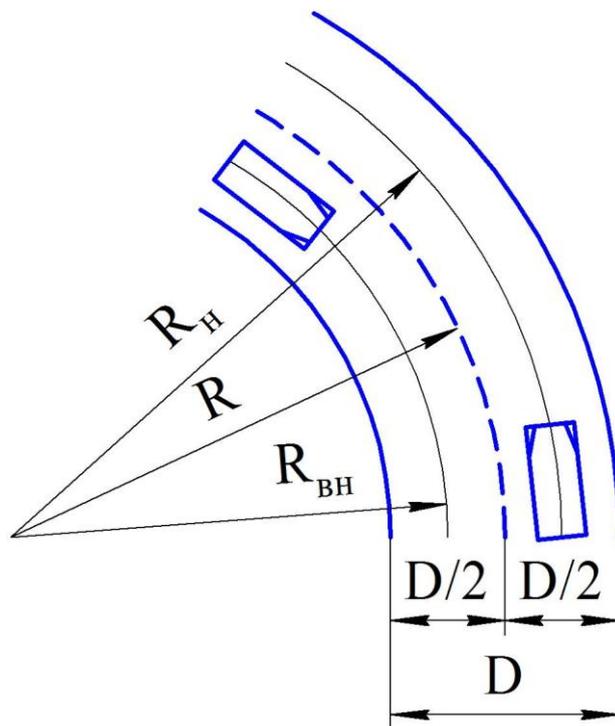


Рисунок 5 – Радиусы поворота автомобиля

Радиус поворота наружной полосы движения двухполосной дороги:

$$R_n = R + \frac{D}{4}, \text{ м}; \quad (21)$$

где  $R$  – радиус поворота дороги, м;

$D$  – ширина проезжей части, м.

Радиус поворота внутренней полосы движения двухполосной дороги:

$$R_{вн} = R - \frac{D}{4}, \text{ м}. \quad (22)$$

## Боковое скольжение и опрокидывание автомобиля на криволинейном участке дороги без поперечного уклона

При движении на криволинейном участке дороги автомобиль под действием центробежной силы может потерять устойчивость, результатом чего может быть боковое скольжение или опрокидывание.

Условие устойчивого (без скольжения) движения автомобиля на криволинейном участке дороги (рисунок б):

$$P_{\text{фп}} \geq P_{\text{ц}}, \quad (23)$$

где  $P_{\text{фп}}$  – сила сцепления шин с дорогой в поперечном направлении:

$$P_{\text{фп}} = m \cdot g \cdot \varphi_{\text{п}}, \text{ Н}; \quad (24)$$

$P_{\text{ц}}$  – центробежная сила, действующая на автомобиль:

$$P_{\text{ц}} = \frac{m \cdot V^2}{R}, \text{ Н}; \quad (25)$$

$m$  – масса автомобиля, кг;

$\varphi_{\text{п}}$  – коэффициент сцепления шин с дорогой в поперечном направлении:

$$\varphi_{\text{п}} = 0,8 \cdot \varphi; \quad (26)$$

$V$  – скорость движения автомобиля на криволинейном участке дороги, м/с;

$R$  – действительный радиус поворота автомобиля, м.

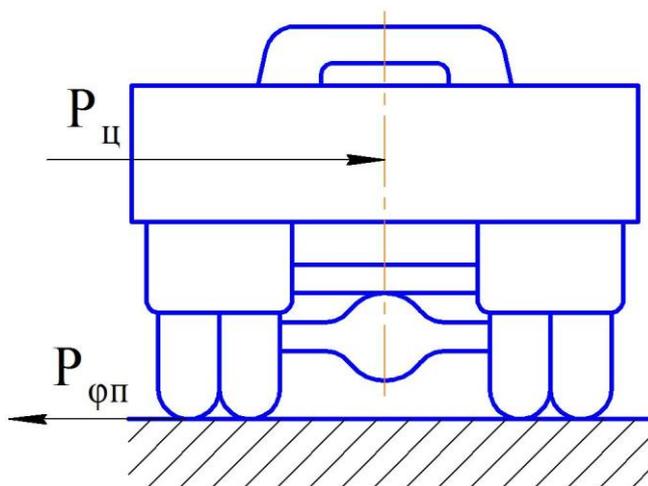


Рисунок б – Схема сил, действующих на автомобиль при боковом скольжении на криволинейном участке дороги

Преобразовав выражение (23), получим:

$$g \cdot \varphi_{\Pi} \geq \frac{V^2}{R}. \quad (27)$$

Следовательно, максимальная (критическая) скорость движения автомобиля по условиям скольжения на криволинейном участке дороги без поперечного уклона:

$$V_{\text{кр(с)}} = \sqrt{0,8 \cdot g \cdot \varphi \cdot R}, \text{ м/с}. \quad (28)$$

При превышении этой скорости движения автомобиль теряет устойчивость и начинает скользить в поперечном направлении.

Условие устойчивого (без опрокидывания) движения автомобиля на криволинейном участке дороги (рисунок 7):

$$M_T \geq M_{\text{ц}}, \quad (29)$$

где  $M_T$  – момент силы тяжести автомобиля относительно его наружных колёс:

$$M_T = P_T \cdot \frac{B}{2}, \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (30)$$

$M_{\text{ц}}$  – момент центробежной силы, действующей на автомобиль, относительно его наружных колёс:

$$M_{\text{ц}} = P_{\text{ц}} \cdot h_{\text{ц}}, \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad (31)$$

$P_T$  – сила тяжести автомобиля:

$$P_T = m \cdot g, \text{ Н}; \quad (32)$$

$B$  – ширина колеи автомобиля, м;

$h_{\text{ц}}$  – высота расположения центра тяжести автомобиля, м.

Преобразовав выражение (29), получим:

$$g \cdot \frac{B}{2} \geq \frac{V^2 \cdot h_{\text{ц}}}{R}. \quad (33)$$

Следовательно, максимальная (критическая) скорость движения автомобиля по условиям опрокидывания на криволинейном участке дороги без поперечного уклона:

$$V_{\text{кр(о)}} = \sqrt{\frac{g \cdot B \cdot R}{2 \cdot h_{\text{ц}}}}, \text{ м/с}. \quad (34)$$

При превышении этой скорости движения автомобиль теряет устойчивость и происходит его опрокидывание в поперечном направлении.

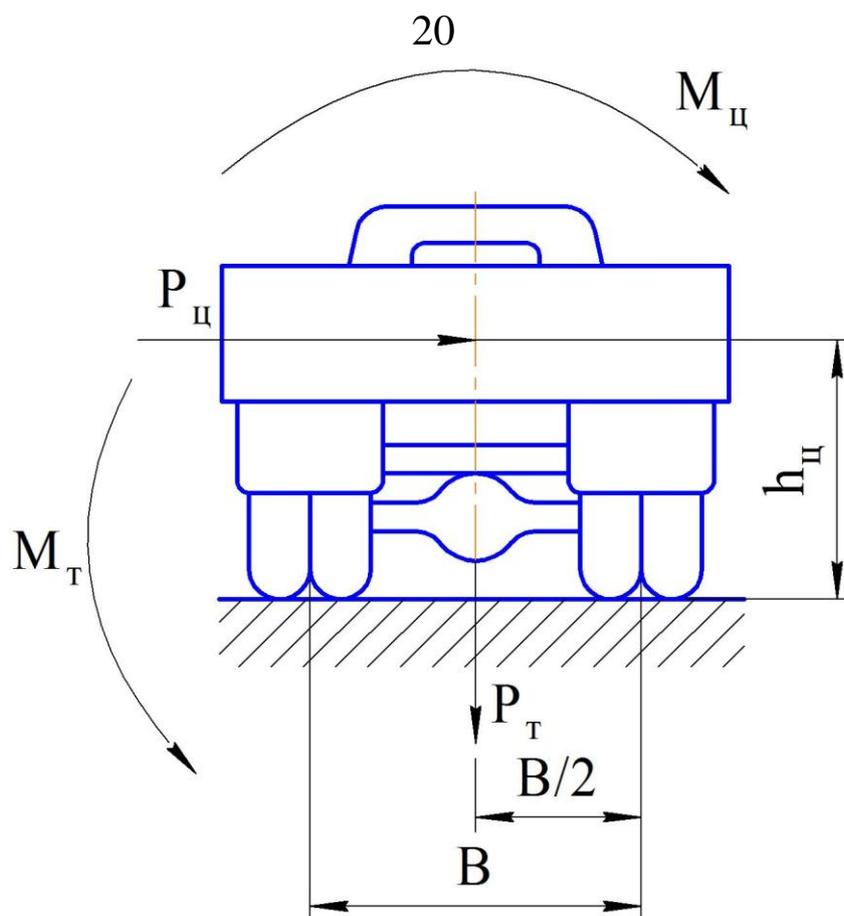


Рисунок 7 – Схема сил и моментов, действующих на автомобиль при боковом опрокидывании на криволинейном участке дороги

### **Боковое скольжение и опрокидывание автомобиля на криволинейном участке дороги с поперечным уклоном**

При движении автомобиля на криволинейном участке дороги с поперечным уклоном (вираже) максимальная безопасная скорость движения будет увеличиваться, т.к. поперечная устойчивость автомобиля повышается (рисунок 8).

Максимальная (критическая) скорость движения автомобиля по условиям скольжения на криволинейном участке дороги с поперечным уклоном:

$$V_{\text{кр(с)}} = \sqrt{R \cdot g \cdot \frac{0,8 \cdot \varphi + \text{tg}\theta}{1 - 0,8 \cdot \varphi \cdot \text{tg}\theta}}, \text{ м/с.} \quad (35)$$

где  $\theta$  – угол поперечного уклона дороги (косогора).

Максимальная (критическая) скорость движения автомобиля по условиям опрокидывания на криволинейном участке дороги с поперечным уклоном:

$$V_{\text{кр(о)}} = \sqrt{R \cdot g \cdot \frac{B + 2 \cdot h_{\text{ц}} \cdot \text{tg}\theta}{2 \cdot h_{\text{ц}} - B \cdot \text{tg}\theta}}, \text{ м/с.} \quad (36)$$

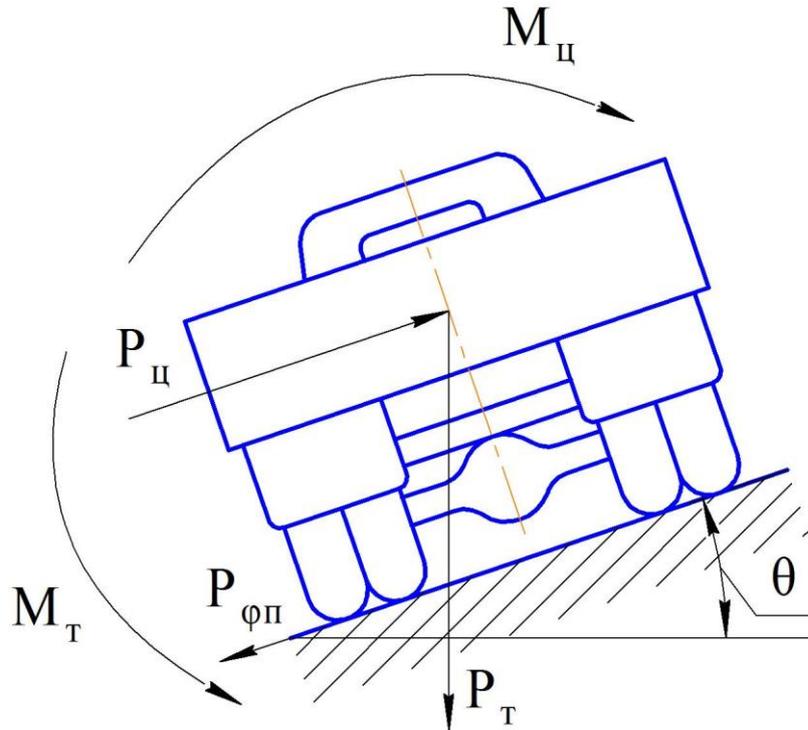


Рисунок 8 – Схема сил и моментов, действующих на автомобиль при боковом скольжении и опрокидывании на криволинейном участке дороги с поперечным уклоном

### Задачи для самостоятельного решения

#### Задача 1

Определить максимальную скорость с которой может двигаться без потери устойчивости автомобиль по наружной полосе на горизонтальном участке двухполосной мокрой асфальтобетонной дороги, если радиус поворота дороги –  $(100 + 10 \cdot X)$  м, ширина проезжей части – 6 м, ширина колеи автомобиля – 1,8 м, высота расположения центра тяжести автомобиля – 0,8 м.

#### Задача 2

Рассчитать центробежную силу, действующую на автомобиль массой  $(10 + X)$  т, движущийся со скоростью 60 км/ч по траектории радиусом 200 м.

## Задача 3

Определить коэффициент сцепления шин с покрытием проезжей части дороги при движении автомобиля по траектории радиусом 100 м с поперечным уклоном 10 %, если критическая скорость движения автомобиля по условиям скольжения –  $(50 + 2 \cdot X)$  км/ч.

## Задача 4

Автомобиль движется по внутренней полосе на повороте дороги, имеющей по две полосы движения в обоих направлениях, сухое асфальтобетонное покрытие и поперечный уклон 8 %. Радиус поворота дороги –  $(50 + 2 \cdot X)$  м, ширина проезжей части – 14 м, ширина колеи автомобиля – 1,5 м, высота расположения центра тяжести автомобиля – 0,5 м. Что произойдёт с автомобилем при меньшей скорости движения: скольжение или опрокидывание?

## Задача 5

Какой должна быть на повороте величина превышения наружной кромки проезжей части дороги над внутренней, если дорога строится вне населённого пункта, будет иметь по одной полосе движения в обоих направлениях, ширину проезжей части 8 м, асфальтобетонное покрытие, радиус поворота  $(100 + 2 \cdot X)$  м и рассчитывается на движение по ней с максимальной разрешённой скоростью без бокового скольжения.

## 4 СТОЛКНОВЕНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Столкновения автомобилей подразделяются на три вида: попутное, встречное и перекрёстное.

### Попутное столкновение автомобилей

Попутное столкновение – это случай когда получивший удар автомобиль стоял или двигался с меньшей скоростью, чем ударивший автомобиль. Для определения скорости ударившего автомобиля используется закон сохранения количества движения:

$$m_1 \cdot V_1 + m_2 \cdot V_2 = m_1 \cdot V_3 + m_2 \cdot V_4, \quad (37)$$

где  $m_1$  – масса ударившего автомобиля, кг;

$m_2$  – масса получившего удар автомобиля, кг;

$V_1$  – скорость ударившего автомобиля перед столкновением, м/с;

$V_2$  – скорость получившего удар автомобиля перед столкновением, м/с;

$V_3$  – скорость ударившего автомобиля после столкновения, м/с;

$V_4$  – скорость получившего удар автомобиля после столкновения, м/с.

Уравнение (37) используется в случае если после столкновения оба автомобиля продолжали двигаться отдельно. Если же автомобили после столкновения двигались в сцеплённом состоянии со скоростью  $V_3$ , то уравнение примет вид:

$$m_1 \cdot V_1 + m_2 \cdot V_2 = (m_1 + m_2) \cdot V_3. \quad (38)$$

В уравнениях (37) и (38) скорость – величина векторная, т. е. регламентирующая определённое направление движения автомобиля.

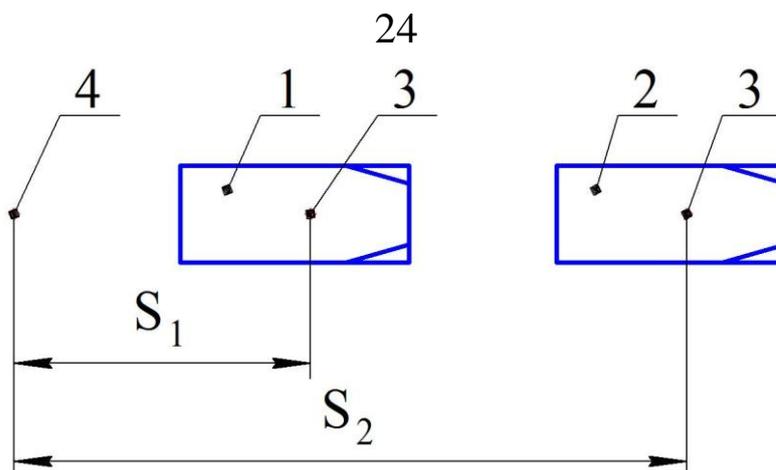
Учитывая длины следов скольжения автомобилей после столкновения (рисунок 9), можно определить скорости автомобилей после столкновения:

$$V_3 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi \cdot S_1}, \text{ м/с}; \quad (39)$$

$$V_4 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi \cdot S_2}, \text{ м/с}; \quad (40)$$

где  $S_1$  – длина следов скольжения ударившего автомобиля;

$S_2$  – длина следов скольжения получившего удар автомобиля.



1 – ударивший автомобиль; 2 – получивший удар автомобиль;  
 3 – центры тяжести автомобилей; 4 – место столкновения  
 Рисунок 9 – Попутное столкновение автомобилей после которого оба  
 автомобиля продолжали двигаться раздельно

Если получивший удар автомобиль до столкновения стоял, т. е.  $V_2 = 0$ , то уравнение (37) примет вид:

$$m_1 \cdot V_1 = m_1 \cdot V_3 + m_2 \cdot V_4. \quad (41)$$

Скорость ударившего автомобиля в начале торможения перед столкновением:

$$V_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi \cdot S_3 + V_1^2}, \text{ м/с}; \quad (42)$$

где  $S_3$  – длина следов скольжения ударившего автомобиля с момента начала торможения до столкновения, м.

### Встречное столкновение автомобилей

Простейшим случаем встречного столкновения является такой, когда столкнувшиеся автомобили сразу же остановились. Тогда без учёта затраченной энергии на деформацию их кузовов можно сделать вывод о равенстве количества движения этих автомобилей, т. е.:

$$m_1 \cdot V_1 = m_2 \cdot V_2, \quad (43)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – массы автомобилей, кг;

$V_1$  и  $V_2$  – скорости автомобилей перед столкновением, м/с.

Часто случаются встречные столкновения больших тяжёлых автомобилей с небольшими легкими. В этом случае может измениться направление перемещения последнего автомобиля: оба автомобиля будут совместно двигаться с одной скоростью в направлении скорости движения более тяжёлого автомобиля. Закон

сохранения количества движения для этого случая:

$$m_1 \cdot V_1 - m_2 \cdot V_2 = (m_1 + m_2) \cdot V_3. \quad (44)$$

### Перекры́стное столкновение автомобилей

Перекры́стные столкновения в большинстве своём характеризуются столкновениями, происходящими под прямым углом (рисунок 10).

Требуется определить с какими скоростями двигались автомобили после столкновения, перед столкновением, перед началом торможения.

Скорости автомобилей после столкновения:

$$V_5 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi_{\text{п}} \cdot S_3}, \text{ м/с}; \quad (45)$$

$$V_6 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi_{\text{п}} \cdot S_4}, \text{ м/с}. \quad (46)$$

Для того чтобы определить скорости автомобилей перед столкновением необходимо составить уравнение сохранения количества движения. Количество движения – величина векторная. Разложим количество движения по направлениям осей «х» и «у», т. е. на две составляющие, совпадающие с направлением движения автомобилей до столкновения:

- в направлении оси «х»:

$$m_1 \cdot V_3 = m_1 \cdot V_5 \cdot \cos \theta + m_2 \cdot V_6 \cdot \cos \gamma, \quad (47)$$

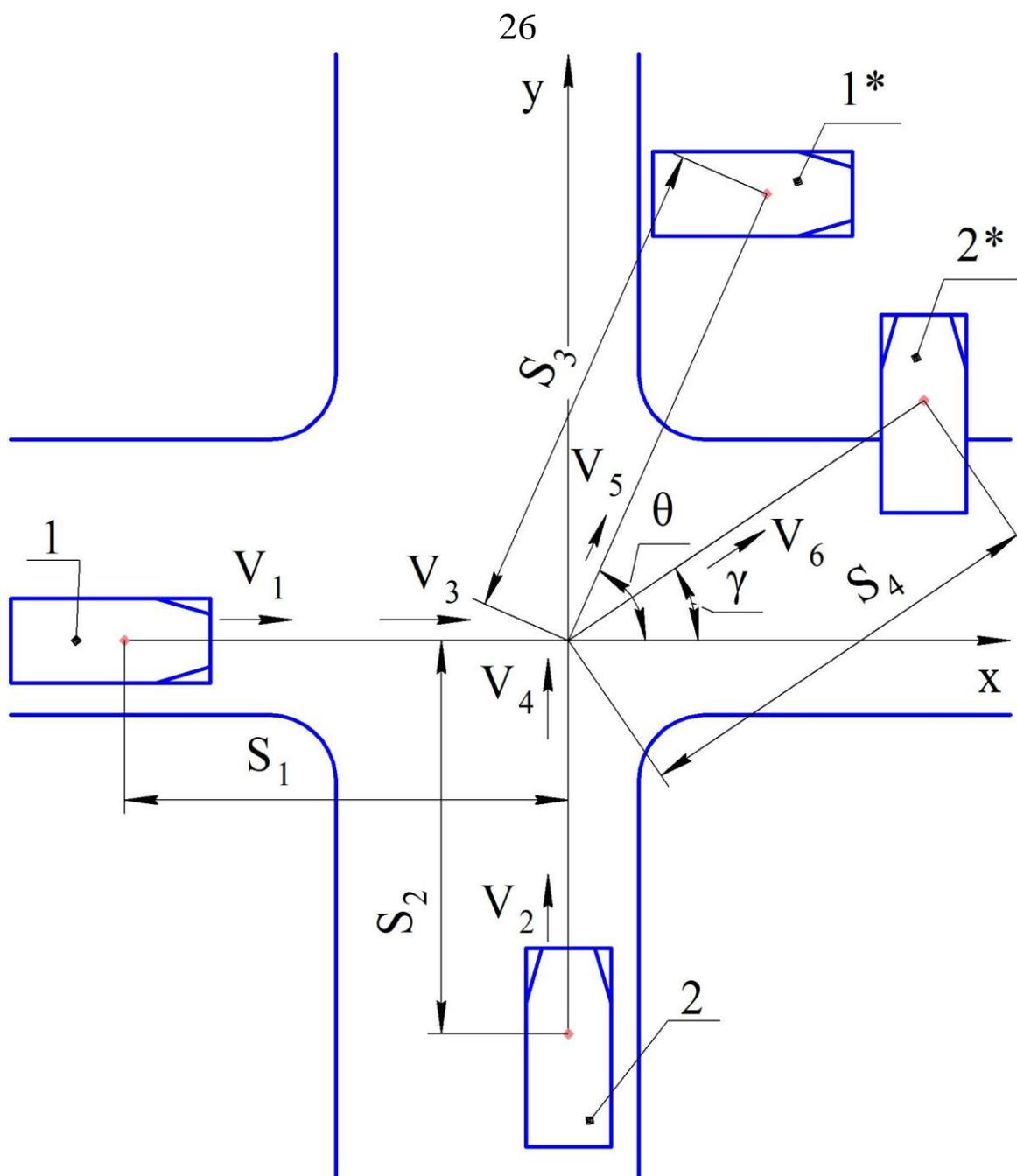
- в направлении оси «у»:

$$m_2 \cdot V_4 = m_1 \cdot V_5 \cdot \sin \theta + m_2 \cdot V_6 \cdot \sin \gamma. \quad (48)$$

Скорости автомобилей перед началом торможения:

$$V_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi \cdot S_1 + V_3^2}, \text{ м/с}; \quad (49)$$

$$V_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi \cdot S_2 + V_4^2}, \text{ м/с}. \quad (50)$$

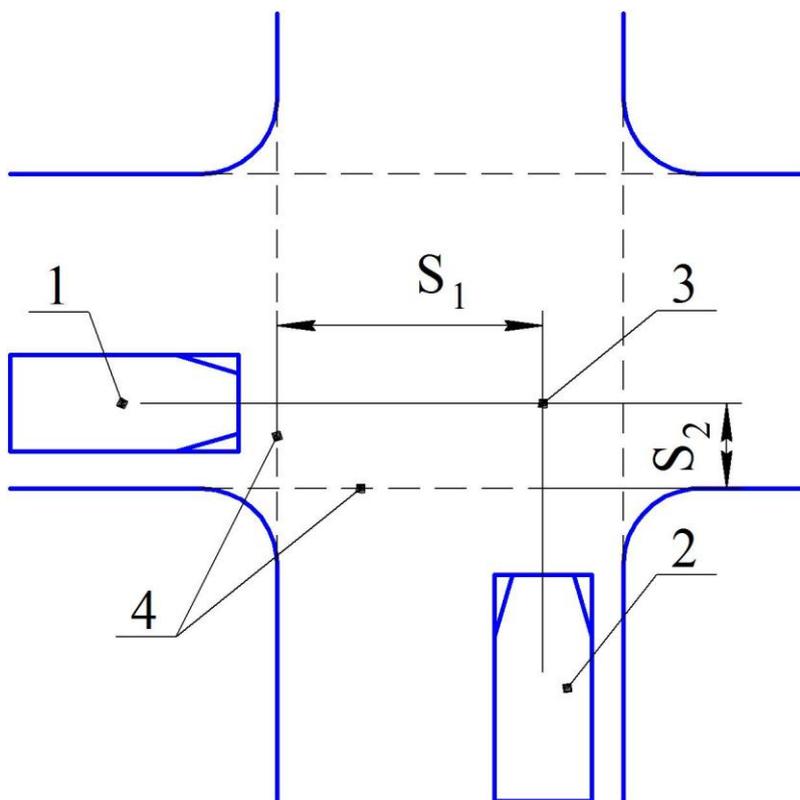


1 и 2 – положения автомобилей в начале торможения перед столкновением; 1\* и 2\* – положения автомобилей после их остановки;  $S_1$ ,  $S_2$  – следы скольжения автомобилей перед столкновением;  $S_3$  и  $S_4$  – расстояния перемещений центров тяжести автомобилей после столкновения;  $V_1$  и  $V_2$  – скорости автомобилей перед началом торможения;  $V_3$  и  $V_4$  – скорости автомобилей перед столкновением;  $V_5$  и  $V_6$  – скорости автомобилей после столкновения  $\theta$  и  $\gamma$  – углы, определяющие положение автомобилей после их остановки

Рисунок 10 – Перекрёстное столкновение автомобилей

## Определение момента выезда автомобиля на перекрёсток

При расследовании ДТП, связанных с перекрёстными столкновениями, бывает необходимо определить, какой из столкнувшихся автомобилей первым выехал на перекрёсток (рисунок 11). В этом случае возможны три варианта.



1 и 2 – автомобили 1 и 2; 3 – место столкновения; 4 – границы перекрёстка;  $S_1$  и  $S_2$  – расстояния от границ перекрёстка до места столкновения по ходу движения автомобилей

Рисунок 11 – Определение момента выезда автомобилей на перекрёсток при перекрёстном столкновении

1. Оба автомобиля выехали на перекрёсток с постоянной скоростью (без торможения).

Время, которое потребовалось каждому автомобилю для проезда от границы перекрёстка до места столкновения:

$$t_1 = \frac{S_1}{V_1}, \text{ с}; \quad (51)$$

$$t_2 = \frac{S_2}{V_2}, \text{ с;} \quad (52)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – скорости автомобилей перед столкновением, м/с.

Если  $t_1 > t_2$ , то автомобиль 1 выехал на перекрёсток раньше, чем автомобиль 2, и наоборот.

2. Автомобиль 1 выехал на перекрёсток с постоянной скоростью, а автомобиль 2 – с торможением.

Время, которое потребовалось каждому автомобилю для проезда от границы перекрёстка до места столкновения:

$$t_1 = \frac{S_1}{V_1}, \text{ с;} \quad (53)$$

$$t_2 = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi \cdot S_2} - V_2}{g \cdot \varphi}, \text{ с.} \quad (54)$$

3. Оба автомобиля выехали на перекрёсток с торможением.

Время, которое потребовалось каждому автомобилю для проезда от границы перекрёстка до места столкновения:

$$t_1 = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi \cdot S_1} - V_1}{g \cdot \varphi}, \quad (55)$$

$$t_2 = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi \cdot S_2} - V_2}{g \cdot \varphi}. \quad (56)$$

### Задачи для самостоятельного решения

#### Задача 1

Автомобили массами 1000 кг и 2000 кг совершили встречное столкновение и остановились. Определить скорость движения второго автомобиля перед столкновением, если скорость движения первого  $-(50 + 2 \cdot X)$  км/ч.

#### Задача 2

После попутного столкновения автомобили до остановки продолжали двигаться отдельно. Определить скорость движения автомобиля 2 перед столкновением, если его масса –  $(1000 + 50 \cdot X)$  кг, масса автомобиля 1 –  $(1500 + 100 \cdot X)$  кг, скорость движения автомобиля 2 после столкновения – 40 км/ч, скорость движения автомобиля 1 перед столкновением – 50 км/ч, после столкновения – 30 км/ч.

## Задача 3

При попутном столкновении на сухом асфальтобетонном покрытии после точки столкновения были оставлены следы скольжения колёс автомобилей 1 и 2, соответственно равные 25 м и 30 м. Определить скорость движения автомобиля 1 перед столкновением, если скорость движения автомобиля 2 –  $(50 + X)$  км/ч, а массы автомобилей – 1500 и 2000 кг соответственно.

## Задача 4

Чтобы предотвратить наезд на пешехода, водитель полностью загруженного автомобиля ГАЗ-33021 резко повернул автомобиль на полосу встречного движения, где совершил столкновение с автомобилем ВАЗ-2170, движущимся на встречу, в котором находился только водитель. Определить скорость движения автомобиля ГАЗ-33021, если столкнувшиеся автомобили сразу остановились, а скорость движения автомобиля ВАЗ-2170 была  $(50 + 2 \cdot X)$  км/ч.

## Задача 5

На перекрёстке с сухим асфальтобетонным покрытием, произошло перекрёстное столкновение под прямым углом легкового автомобиля массой  $(1000 + 50 \cdot X)$  кг и микроавтобуса массой  $(2000 + 100 \cdot X)$  кг. До столкновения водители ТС, пытаясь предотвратить ДТП, начали экстренное торможение, и были оставлены следы скольжения колёс длиной 10 м и 8 м соответственно. После столкновения центры тяжести ТС переместились на расстояния 5 м и 3 м под углами  $45^\circ$  и  $30^\circ$  от направления движения легкового автомобиля соответственно. Определить скорости движения ТС перед началом торможения.

## Задача 6

На перекрёстке произошло перекрёстное столкновение двух автомобилей, которые выехали на перекрёсток без торможения, с постоянной скоростью. Определить, какой автомобиль первым выехал на перекрёсток, если скорости движения перед столкновением: первого автомобиля – 40 км/ч, второго –  $(50 + 2 \cdot X)$  км/ч, расстояния от границ перекрёстка до места столкновения по ходу движения: первого автомобиля – 4 м, второго – 6 м.

## 5 НАЕЗД НА ПЕШЕХОДА ПРИ РАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ И НЕОГРАНИЧЕННОЙ ВИДИМОСТИ

Такие наезды весьма распространены и более половины из них происходят в условиях, когда ничего не мешает водителю заметить на большом расстоянии пешехода и правильно оценить его действия. Следовательно, отсутствуют убедительные причины, препятствующие водителю своевременно принять необходимые меры безопасности. Однако в таких ситуациях водитель часто продолжает движение, не снижая скорости, хотя и видит пешехода, и тормозит лишь непосредственно перед наездом.

При расследовании таких ДТП необходимо выяснить, имел ли водитель техническую возможность в данных дорожных условиях, применив торможение, остановить автомобиль до линии движения пешехода и тем самым предотвратить происшествие.

С этой целью сравнивается расстояние видимости пешехода ( $S_B$ ) (удалённость автомобиля от места наезда) с остановочным путём автомобиля ( $S_{ост}$ ). Если  $S_B < S_{ост}$ , то водитель не имел технической возможности предотвратить наезд на пешехода и наоборот.

### Удар пешехода боковой поверхностью автомобиля (рисунок 12)

Расстояние видимости пешехода:

$$S_B = V_0 \cdot t_B - l_x, \text{ м.} \quad (57)$$

где  $t_B$  – время видимости пешехода:

$$t_B = \frac{S_{\Pi}}{V_{\Pi}}, \text{ с;} \quad (58)$$

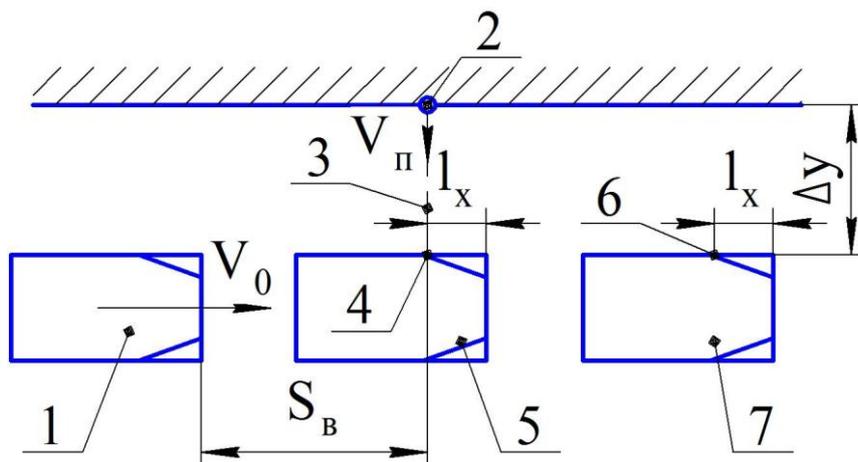
где  $S_{\Pi}$  – путь, пройденный пешеходом с момента его появления на проезжей части и до наезда, м.

Так как  $S_{\Pi} = \Delta y$ , то время видимости пешехода:

$$t_B = \frac{\Delta y}{V_{\Pi}}, \text{ с.} \quad (59)$$

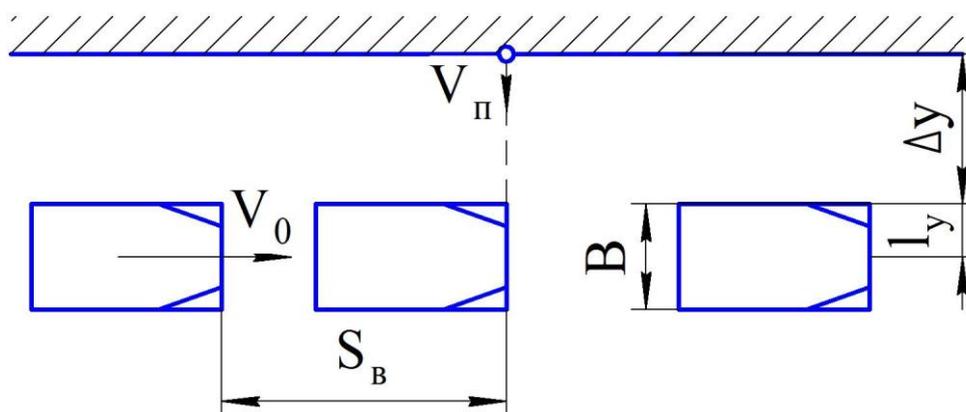
Остановочный путь автомобиля:

$$S_{ост} = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot V_0 + \frac{V_0^2}{2 \cdot g \cdot \varphi}, \text{ м.} \quad (60)$$



1 – положение автомобиля, движущегося равномерно со скоростью  $V_0$ , до наезда; 2 – положение пешехода в момент начала его движения по проезжей части со скоростью  $V_п$ ; 3 – линия движения пешехода; 4 – место наезда на пешехода; 5 – положение автомобиля в момент наезда; 6 – место на автомобиле, которым был нанесён удар пешеходу (место удара); 7 – положение автомобиля после наезда;  $l_x$  – расстояние от передней части автомобиля до места удара на боковой поверхности, измеренное параллельно продольной оси автомобиля, м;  $\Delta y$  – расстояние от края проезжей части, до автомобиля, м;  $S_в$  – расстояние видимости пешехода, м.  
Рисунок 12 – Схема наезда на пешехода при ударе, нанесённом боковой поверхностью автомобиля

### Удар пешехода передней поверхностью автомобиля (рисунок 13)



$B$  – ширина автомобиля;  $l_y$  – расстояние от угла автомобиля до места удара на передней поверхности по ходу движения пешехода  
Рисунок 13 – Схема наезда на пешехода при ударе, нанесённом передней поверхностью автомобиля.

Расстояние видимости пешехода:

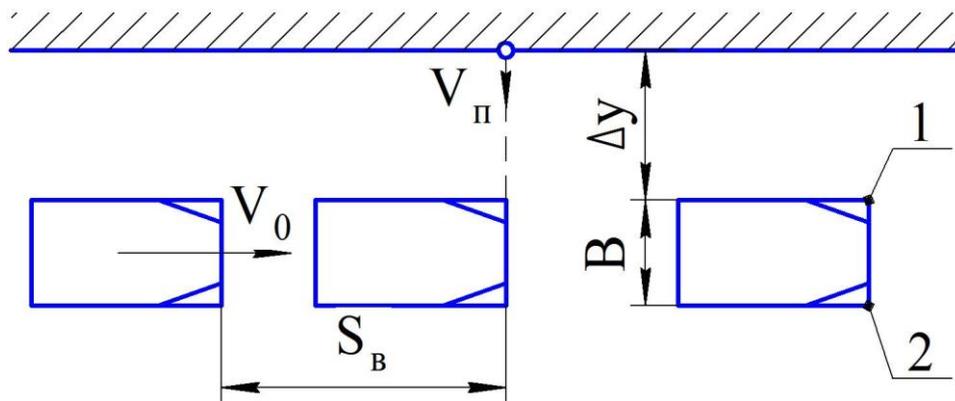
$$S_B = V_0 \cdot t_B, \text{ м.} \quad (61)$$

Время видимости пешехода определяется по формуле (59), где  $S_{\Pi} = \Delta y + l_y$ , следовательно:

$$t_B = \frac{\Delta y + l_y}{V_{\Pi}}, \text{ с.} \quad (62)$$

### Удар пешехода передним углом автомобиля

Если пешеход пересекает полосу движения автомобиля, например, слева направо (считая по направлению движения автомобиля), то «ближним» называется левый передний угол автомобиля, а «дальним» – правый (рисунок 14).



1 – «ближний» угол автомобиля; 2 – «дальний» угол автомобиля.

Рисунок 14 – Схема наезда на пешехода при ударе, нанесённом передним углом автомобиля

Если удар пешеходу нанесён «ближним» углом автомобиля, т. е.  $l_x = 0$  и  $l_y = 0$ , то расстояние видимости рассчитывается по формуле (61), а время видимости пешехода – по формуле (59). Если удар пешеходу нанесён «дальним» углом автомобиля, то расстояние видимости также рассчитывается по формуле (61), а время видимости пешехода – по формуле (62), где  $l_y = B$ .

## Задачи для самостоятельного решения

### Задача 1

Автомобиль, двигавшийся со скоростью  $(50 + 2 \cdot X)$  км/ч, на расстоянии 6 м от левой границы проезжей части совершил наезд на пешехода, пересекающего улицу слева направо со скоростью 6,5 км/ч. Удар пешеходу был нанесён левым передним крылом на расстоянии 0,4 м от переднего бампера. В данных дорожных условиях можно достигнуть величины замедления  $8 \text{ м/с}^2$ . Время реакции водителя – 0,8 с, время запаздывания срабатывания тормозного привода – 0,1 с, время нарастания замедления – 0,2 с. Определить: имел ли водитель возможность, применив экстренное торможение, предотвратить ДТП.

### Задача 2

На проезжей части сухой асфальтобетонной дороги автомобилем LADA Vesta был сбит пешеход, переходящий дорогу от правой границы проезжей части. Удар пешеходу был нанесён центром бампера автомобиля. Расстояние от правого края проезжей части до автомобиля – 2 м, скорость движения автомобиля –  $(50 + 2 \cdot X)$  км/ч, скорость движения пешехода – 5 км/ч, время реакции водителя – 0,5 с, время запаздывания срабатывания тормозного привода – 0,2 с, время нарастания замедления – 0,1 с. Определить: имел ли водитель возможность, применив экстренное торможение, предотвратить ДТП.

### Задача 3

«Дальним» передним углом автомобиля ВАЗ-2170 был сбит пешеход, переходящий дорогу от левого края проезжей части со скоростью  $(3 + 0,2 \cdot X)$  км/ч. Скорость движения автомобиля – 90 км/ч, время реакции водителя – 0,3 с, время запаздывания срабатывания тормозного привода – 0,1 с, время нарастания замедления – 0,1 с, расстояние от левого края проезжей части до автомобиля – 5 м. Состояние поверхности проезжей части позволяет достигнуть замедления  $5 \text{ м/с}^2$ . Определить: имел ли водитель возможность, применив экстренное торможение, предотвратить ДТП.

## Задача 4

«Ближним» передним углом автобуса ПАЗ-3205 был сбит пешеход, переходящий проезжую часть с левой стороны по ходу движения автобуса. Расстояние от левого края проезжей части до автобуса – 5 м, скорость движения автобуса –  $(50 + 2 \cdot X)$  км/ч, скорость движения пешехода – 6 км/ч, время реакции водителя – 1,0 с, время запаздывания срабатывания тормозного привода – 0,2 с, время нарастания замедления – 0,1 с. Коэффициент сцепления шин с дорогой позволяет достигнуть величины замедления  $5 \text{ м/с}^2$ . Определить: была ли возможность у водителя, применив экстренное торможение, предотвратить ДТП и с какой скоростью должен был идти пешеход, чтобы успеть перейти полосу движения автобуса.

## 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДОРОГИ

Важнейшим критерием, характеризующим функционирование путей сообщения, является их пропускная способность. При проектировании автомобильных дорог и организации дорожного движения применяется термин – пропускная способность дороги – это максимальное количество автомобилей, которое может пройти через сечение дороги за единицу времени.

### Пропускная способность полосы

Теоретическое (расчётное) определение пропускной способности дороги основано на использовании различных математических моделей, интерпретирующих транспортный поток. При расчёте пропускной способности полосы на перегоне исходят из условия колонного движения автомобилей, т. е. движения с минимальной дистанцией, которая может быть допущена по условиям безопасности для заданной скорости потока. При этом пренебрегают неизбежной на практике неравномерностью интенсивности.

Таким образом, простейший метод расчёта пропускной способности полосы основан на упрощённой динамической модели, рассматривающей поток как равномерно распределённую на протяжении полосы движения колонну однотипных легковых автомобилей:

$$P_{\text{п}} = \frac{3600 \cdot V_{\text{а}}}{L_{\text{д}}}, \text{ авт./ч}; \quad (63)$$

где  $V_{\text{а}}$  – скорость потока автомобилей, м/с;

$L_{\text{д}}$  – динамический габарит автомобиля, м.

Данная математическая модель составлена на основании двух упрощающих допущений:

- 1) скорость всех автомобилей в потоке одинакова;
- 2) автомобили однотипны, т. е. имеют равные динамические габариты.

Динамический габарит автомобиля:

$$L_{\text{д}} = l_{\text{а}} + d + l_0, \text{ м}; \quad (64)$$

где  $l_{\text{а}}$  – длина автомобиля, м;

$d$  – дистанция безопасности, м;

$l_0$  – зазор до остановившегося впереди автомобиля,  $l_0 = 1-3$  м.

Дистанция безопасности:

$$d = V_a \cdot t_p + \frac{V_a^2}{2} \cdot \left( \frac{1}{j_2} - \frac{1}{j_1} \right), \text{ м}; \quad (65)$$

где  $t_p$  – время реакции водителя, с;

$j_2$  – установившееся замедление ведомого автомобиля,  $\text{м/с}^2$ ;

$j_1$  – установившееся замедление ведущего автомобиля,  $\text{м/с}^2$ .

Если принять время реакции водителя (включая время запаздывания срабатывания гидравлического тормозного привода) равным 1 с, а разность максимальных замедлений на сухом асфальтобетонном покрытии при экстренном торможении однопородных легковых автомобилей с учётом эксплуатационного состояния тормозной системы в допустимых нормативами пределах около  $2 \text{ м/с}^2$ , то динамический габарит автомобиля:

$$L_d = l_a + V_a + 0,03 \cdot V_a^2 + 1, \text{ м}. \quad (66)$$

Данный метод приемлем для ограниченных по составу и скорости транспортного потока условий. Расчёт пропускной способности полосы с учётом выражения (66) для непрерывного потока легковых автомобилей даёт значение 1930 авт./ч при скорости 60 км/ч.

Безопасное движение в плотной колонне с точки зрения психофизиологического состояния водителя возможно лишь при ограниченных скоростях. Для легковых автомобилей при скоростях движения более 80 км/ч время реакции водителя увеличивается и должно быть принято равным не 1 с, а существенно большим (до 2 с). Кроме того, из-за несовершенства тормозных систем автомобилей, а также неоднородной характеристики эксплуатационного состояния шин на разных колёсах, даже на дорогах с высоким коэффициентом сцепления при экстренном торможении автомобилей не гарантировано сохранение их устойчивого прямолинейного движения. Поэтому расчёты по формуле (66) могут быть рекомендованы для скоростей не выше 80 км/ч.

Соответствие расчётов с использованием формулы (66) реальным условиям дорожного движения с ограниченными

скоростями подтверждается практическим опытом. На его основе во многих публикациях по безопасности дорожного движения содержится рекомендация о том, что безопасная дистанция (в метрах) должна быть равна примерно половине величины скорости (в километрах в час).

Приведенный расчёт предназначен для приближённого определения пропускной способности полосы при колонном движении однотипных легковых автомобилей с умеренными скоростями.

Для смешанного транспортного потока следует использовать коэффициенты приведения (таблица 4).

Таблица 4 – Коэффициенты приведения для различных типов транспортных средств (ТС)

Тип ТС	Коэффициент приведения
Легковой автомобиль	1
Мотоцикл с коляской	0,75
Мотоцикл одиночный	0,5
Грузовой автомобиль грузоподъёмностью, т:	
до 2 включительно	1,5
свыше 2 до 5	1,7
свыше 5 до 10	2,0
свыше 10	3,0
Микроавтобус	1,5
Автобус	2,5
Троллейбус	3,0
Сочленённый автобус или троллейбус	4,0
Автопоезд грузоподъёмностью, т:	
до 12 включительно	3,5
свыше 12 до 20	4,0
свыше 20 до 30	5,0
свыше 30	6,0

С помощью коэффициентов приведения можно получить показатель интенсивности движения в условных приведенных единицах:

$$N_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n (N_i \cdot K_{\text{при}}), \text{ ед./ч}; \quad (67)$$

где  $N_i$  – интенсивность движения ТС данного типа, авт./ч;

$K_{\text{при}}$  – коэффициент приведения для данного типа ТС;

$n$  – число типов ТС, на которые разделены данные наблюдений.

При расчёте фактической пропускной способности полосы реальной дороги можно воспользоваться системой поправочных коэффициентов, учитывающих эксплуатационные условия:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{п}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_m, \text{ ед./ч}; \quad (68)$$

где  $P_{\text{п}}$  – расчётная (теоретическая) пропускная способность полосы при идеальных условиях, ед./ч;

$K_1, K_2, \dots, K_m$  – коэффициенты, учитывающие условия движения (ширину полосы движения, состав потока автомобилей, величину и протяжённость подъёмов, наличие пересечений и др.).

### **Пропускная способность многополосных дорог**

Пропускная способность многополосных дорог увеличивается не строго пропорционально числу полос. Это объясняется тем, что на многополосной дороге ТС маневрируют для поворотов налево и направо, разворотов, опережений, подъезда к краю проезжей части для остановки. Кроме того, даже при отсутствии указанных перестроений параллельные насыщенные потоки ТС создают стеснение движения из-за относительно небольших и непостоянных боковых интервалов, т. к. водители не в состоянии обеспечить постоянное движение, идеально совпадающее с воображаемой осью полосы дороги.

Пропускная способность многополосной дороги:

$$P_{\text{мн}} = P_{\text{п}} \cdot K_{\text{мн}}, \text{ ед./ч}; \quad (69)$$

где  $K_{\text{мн}}$  – коэффициент многополосности:  $K_{\text{мн}} = 1,9$  – для двухполосной дороги одного направления,  $K_{\text{мн}} = 2,7$  – для трёхполосной,  $K_{\text{мн}} = 3,5$  – для четырёхполосной.

### Пропускная способность регулируемых пересечений

При наличии на дороге одноуровневых пересечений с интенсивным движением приходится прерывать потоки ТС для пропуска их по пересекающимся направлениям с помощью светофорного регулирования. В этом случае для движения транспортного потока данного направления через перекрёсток используется лишь часть времени, т. к. остальная часть отводится для пересекающего потока. Пропускная способность многополосной дороги с учётом влияния регулируемого пересечения:

$$P_{\text{мн}} = P_{\text{п}} \cdot K_{\text{мн}} \cdot K_{\text{пер}}, \text{ ед./ч}; \quad (67)$$

где  $K_{\text{пер}}$  – коэффициент, учитывающий влияние регулируемого пересечения,  $K_{\text{пер}} < 1$ .

### Пропускная способность пешеходных путей

Пропускная способность тротуара или пешеходного перехода – это максимальное количество людей, которое может пройти через его поперечное сечение за расчётный период времени при обеспечении удобства и безопасности пешеходного движения. Пропускную способность пешеходных путей оценивают как приведенную к одной полосе движения пешеходов шириной 0,75–1,0 м.

Для обеспечения свободного движения пешеходов на значительные расстояния (т. е. вдоль тротуара) необходимо, чтобы продольная дистанция между пешеходами была около 2 м, тогда при ширине полосы 1 м плотность движения составит 0,5 чел./м<sup>2</sup>. Таким образом, теоретическая пропускная способность полосы с учётом того, что скорость движения пешеходов при указанной плотности потока на тротуаре составит около 1 м/с, равна примерно 1800 чел./ч, фактическая – ниже ( $\approx 1600$  чел./ч), в связи с неравномерностью пешеходного потока и помехами из-за попутного, встречного и поперечного движения пешеходов по тротуару.

Пропускная способность более узкой полосы (0,75 м) равна 1200 чел./ч с учётом неизбежной неравномерности пешеходного потока и помех при движении.

На пешеходных переходах скорость пешеходов увеличивается,

поэтому теоретическая пропускная способность для полосы пешеходного перехода шириной 1 м принимается (для летних условий) 2000 чел./ч.

Пропускную способность пешеходного пути необходимо проверять для наиболее стеснённого участка пути. Так, если на пешеходном пути встречаются лестницы, пандусы или участки со значительным уклоном (более 2 %), эти места будут ограничивать пропускную способность пути. Значения поправочных коэффициентов для пандуса с уклоном 1:10 и лестницы составляют 0,8 и 0,5 соответственно.

### **Задачи для самостоятельного решения**

#### **Задача 1**

Определить пропускную способность двухполосной дороги одного направления с учётом влияния равнозначного регулируемого пересечения для движения со скоростью  $(30 + 2 \cdot X)$  км/ч транспортного потока следующего состава:  $(40 + X)$  % легковых автомобилей, 30 % микроавтобусов,  $(30 - X)$  % автобусов.

#### **Задача 2**

Определить пропускную способность пешеходного перехода шириной 4 м, расположенного на регулируемом перекрёстке. Продолжительность разрешающего сигнала светофора для пешеходов –  $(20 + 2 \cdot X)$  с, запрещающего – 40 с.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Клинковштейн Г. И. Организация дорожного движения: Учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. [Текст] / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. М.: Транспорт, 2001. 247с.

2 Коноплянко В. И. Организация и безопасность дорожного движения: Учеб. для вузов. [Текст] / В. И. Коноплянко. М.: Транспорт, 1991. 183с.

3 Амбарцумян В. В. Безопасность дорожного движения: Учебное пособие для подготовки и повышения квалификации кадров автомобильного транспорта. [Текст] / В. В. Амбарцумян, В. Н. Бабанин, О. П. Гуджоян, А. В. Петридис. М.: Машиностроение, 1997. 288с.

4 Куперман А. И. Безопасность дорожного движения: Справ. пособие. [Текст] / А. И. Куперман, Ю. В. Миронов. М.: Высш. шк., 1997. 320с.

5 Вахламов В. К. Техника автомобильного транспорта: Подвижной состав и эксплуатационные свойства: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. [Текст] / В. К. Вахламов. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 528с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Форма титульного листа отчёта по практическим работам

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра \_\_\_\_\_

Отчёт по практическим работам  
по дисциплине**ОРГАНИЗАЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК И  
БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ**

Вариант № \_\_\_\_

Выполнил: \_\_\_\_\_ ст. гр. \_\_\_\_\_

Проверил: \_\_\_\_\_ Семенихин Б. А.

Курс 20\_\_