



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Эксплуатация транспортных систем и логистика»

**Методические указания**  
к практическим работам  
по дисциплине

**«Экспертный анализ и служебное расследование  
ДТП»**

Авторы  
Скудина А. А.,  
Щербаков И. Н.

Ростов-на-Дону, 2019



## Аннотация

Практикум предназначен для студентов очной и заочной форм обучения по направлению 230301 «Технология транспортных процессов»

## Авторы

старший преподаватель кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика»

Скудина А. А.,

к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика»

Щербаков И. Н.



## Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>4</b>
<b>1. СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ</b> .....	<b>8</b>
<b>2. ТРАССОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДТП</b> .....	<b>10</b>
<b>3. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В РАЗЛИЧНЫЕ МОМЕНТЫ ВРЕМЕНИ</b> .....	<b>13</b>
3.1. Определение скорости ТС в момент их расхождения	17
3.2. Определение скорости ТС в момент первого контакта по закону сохранения количества движения .....	20
Список литературы .....	Ошибка! Закладка не определена.
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....	<b>27</b>
Приложение 1 .....	27
Приложение 2 .....	27
Приложение 3 .....	28

## ВВЕДЕНИЕ

Целью экспертизы дорожно-транспортных происшествий (ДТП) является установление объективных обстоятельств и причин ДТП с определением механизма развития дорожной ситуации и оценкой (с технической стороны) действий их участников для создания технической основы к правовому решению.

Столкновения являются наиболее распространенным видом ДТП, на долю которых приходится до 60 % от их общего количества. При столкновениях, как правило, уменьшение кинетической энергии происходит в короткий промежуток времени, поэтому перегрузки, испытываемые водителями и пассажирами транспортных средств, могут превышать допустимый уровень толерантности и привести к летальному исходу.

Толерантность, или терпимость, организма человека или отдельных частей тела – это способность переносить кратковременную перегрузку, около 40 – 50 g (где g – ускорение свободного падения, равное 9,8 м/с<sup>2</sup>), действующую для разных частей тела в течение 0,01 – 0,1 с без получения тяжелых необратимых травм. При встречном столкновении за доли секунды (0,1 – 0,2 с) перегрузки могут достигать 150 – 200 g, а усилия, воспринимаемые небольшими участками тела человека, превышают несколько тонн силы – это объясняет большую тяжесть последствий таких ДТП.

По видам соударения транспортных средств различают:

- прямой удар – когда соударение происходит в точке, находящейся на линии, соединяющей центры масс автомобилей;
- косой удар – когда соударение происходит под углом к направлению движения;
- эксцентричный удар – когда направления движения либо параллельны, либо перпендикулярны, а точка контактирования не находится на линии, соединяющей центры масс.

По статистике более 70 % столкновений возникают из-за ошибок водителей, при этом сопутствующими могут оказаться неблагоприятные дорожные условия, отсутствие средств организации движения, неправильное поведение пешеходов и др.

Вопрос установления степени виновности водителя в каждом конкретном случае должен решаться с учетом всех факторов, которые могли оказать влияние на развитие дорожно-транспортной ситуации,

и рассматриваться в системе «автомобиль – водитель – дорога – среда».

Основными задачами автотехнической экспертизы столкновений являются: восстановление картины дорожно-транспортной ситуации, предшествующей столкновению; выявление механизма столкновения; определение места первого контакта и взаимного расположения автомобилей на проезжей части, определение начальных скоростей автомобилей и наличия у водителей технической возможности предотвратить ДТП.

После этого могут быть сделаны выводы о соответствии действий водителей требованиям ПДД.

Для решения этих задач в распоряжение эксперта должны быть представлены все материалы, необходимые для проведения исследования. Как правило, к ним относятся:

- постановление следователя или определение суда о назначении экспертизы;
- справка по ДТП;
- протокол осмотра места происшествия со схемой, отображающей обстановку на момент осмотра;
- протоколы осмотра транспорта;
- объяснения участников, свидетелей и протоколы допросов.

Следует заметить, что в большинстве случаев представленные на экспертизу материалы содержат неполную, а иногда и весьма противоречивую информацию.

Основные причины этого могут заключаться в следующем:

- в состав оперативной группы могут не войти специалисты, способные квалифицированно составить протокол осмотра места ДТП и схему к нему, протоколы осмотра транспорта;
- к моменту прибытия оперативной группы на место ДТП (а иногда группа прибывает через несколько часов) часть следов может быть смыта дождем, затерта проезжающим транспортом и т.д.;
- оперативная группа может работать в условиях большой интенсивности движения на участке ДТП, в темное время суток, при неблагоприятных погодных условиях, что значительно снижает качество выполняемой ими работы;
- как правило, каждый из участников ДТП на допросах показывает, что в его действиях никаких нарушений ПДД не было.

Начиная исследование, эксперт рассматривает происшествие, разделяя его на отдельные этапы:

Этап 1 – сближение автомобилей (ТС) до момента первого контактирования. На этом этапе определяющими данными являются: положение ТС на проезжей части, направление движения, скорость до появления опасности и в момент первого контакта.

Этап 2 – с момента первого контакта до разъединения ТС. Этот этап характеризуют степень травмирования водителя и пассажиров, расположение на автомобиле мест повреждений, их координаты, размеры и характер деформаций и разрушений.

Этап 3 – с момента разъединения ТС до их полной остановки. На этом этапе автомобиль со скольжением перемещается по направлению вектора скорости, приобретенной им после разъединения. В заключительной фазе этого этапа автомобиль может двигаться по криволинейной траектории в соответствии с положением управляемых колес.

Методика анализа наездов на неподвижное препятствие и столкновений автомобилей описана в литературе [1 – 5 и др.].

В задании указываются:

направление движения автомобилей (ТС);

характеристика проезжей части: число полос, уклон, коэффициент сцепления;

сведения о столкнувшихся автомобилях: модель, степень загрузки.

Направление движения задается по подходам 1 – 4 к перекрестку (рис. 1.1).

Таблица 1.1

**Задание, выбираемое по предпоследней цифре зачетной книжки**

№ <sup>0</sup> **	ТС В	$\varphi$	$i$
0	УАЗ-3152	0,6	-2%
1	Chevrolet Niva	0,4	+0,03
2	ГАЗ - 24	0,2	-30‰
3	ГАЗ-3110	0,5	+3%
4	Toyota Carina	0,3	-25‰
5	ВАЗ-21099	0,7	-0,03
6	Toyota Camry	0,6	+2%
7	Ford Focus	0,5	+0,04
8	Renault Logan	0,4	-50‰
9	Daewoo Nexia	0,3	-4%

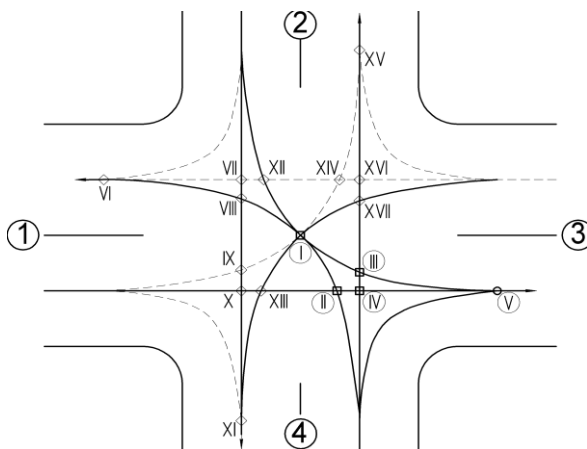


Рис. 1.1. Схема направлений для задания:

1 – 4 – подходы к перекрестку; I – XVII – конфликтные точки

Таблица 1.2

**Задание, выбираемое по последней цифре зачетной книжки**

№	ТС А	Направление движения по подходам	
		A(B)	B(A)
0	ВАЗ-2106	2-3	4-1
1	АЗЛК-2141-01	2-4	4-2
2	ГАЗ-3102	1-3	4-2
3	ВАЗ-2121	2-3	4-3
4	УАЗ-2206	1-2	3-4
5	ВАЗ-2110	2-3	3-4
6	ИЖ-2715	3-4	4-2
7	УАЗ-469	1-2	3-1
8	ВАЗ-2115	1-4	2-4
9	ВАЗ-2108		

В соответствии с номером зачетной книжки:

\* – последняя цифра зачетной книжки;

\*\* – предпоследняя цифра зачетной книжки.

Чётный год обучения:

Главная дорога по направлению 2–4, по 3 полосы движения в каждом направлении. Второстепенная дорога по направлению 1–3, по 2 полосы движения в каждом направлении. ТС А полной массы. ТС В в снаряженном состоянии. Конфликтующее направление: буквы перед скобкой – А и В.

Нечётный год обучения:

Главная дорога по направлению 1-3, по 2 полосы движения в каждом направлении. Второстепенная дорога по направлению 2-4, по 2 полосы движения в каждом направлении. ТС А в снаряженном состоянии. ТС В полной массы. Конфликтующее направление: буквы в скобках – В и А.

## 1. СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

Рассмотреть возможные варианты столкновения ТС для заданных направлений и отобразить их в масштабе не менее М 1:100 на миллиметровой бумаге (не менее 4-х ситуаций на отдельных листах). Для каждой ситуации следует отобразить возможные следы торможения до столкновения, расположение ТС в момент первого контакта и после их остановки, а также предполагаемые следы колёс каждой оси, оставленные на дороге при перемещении ТС в результате столкновения.

Для того чтобы расположение ТС в результате столкновения было правдоподобным, на этих же миллиметровых бумагах следует построить параллелограмм векторов количества движения и по нему определить скорости ТС в момент первого контакта (см. раздел «Определение скорости ТС»). Провести предварительный анализ значений скоростей ТС до и после первого контакта.

Если окажется, что их значения не подчиняются логике здравого смысла, следует изменить конечное положение одного или обоих ТС и скорректировать схему развития ситуации после первого контакта. Можно изменить координаты юзовых следов, предположив, что какое-либо ТС после отбрасывания и разворота некоторое расстояние до остановки двигалось накатом.

В большинстве случаев после первого контакта имеет место совместное движение автомобилей, иногда происходит их зацепление, а при их разъединении центры масс ТС значительно удаляются от их положения при первом контакте. При анализе ситуаций необходимо описать характер движения каждого ТС и сделать конкретные выводы о величине возможной скорости в момент первого контакта. Для всех ситуаций необходимо сочинить краткую версию их возникновения.

*Все варианты ситуаций со схемами, версиями, расчётами и выводами о величине возможной скорости в момент первого*



*контакта следует представить на рассмотрение консультанта по работе, который должен утвердить (подписать) один из вариантов ситуаций для более детальной проработки и дополнить схему какими-либо фрагментами по своему усмотрению. Например, изменить положение места первого контакта, добавить, переместить или изменить длину следов торможения до столкновения, уточнить место разброса отделившихся фрагментов для проведения последующих исследований и др.*

2. Для утверждённой консультантом версии сначала следует выполнить безмасштабную схему со всеми размерами и надписями, отражающими ситуацию после ДТП, аналогично схеме, составляемой при осмотре места происшествия (не наносить ТС в момент первого контакта!).

3. При проведении более детальных исследований, на миллиметровой бумаге следует составить масштабную схему ДТП (М 1:100), являющуюся основной схемой заключения эксперта. На схеме необходимо обозначить модели ТС, показать направление их движения, указать размеры перекрёстка, наименование и направление улиц, расставить дорожные знаки (с возможным их отсутствием или невидимостью по какому-то направлению), изобразить разметку (при ее наличии или видимости). Следует дополнить заданную ситуацию координатами следов торможения оставленными: до момента контактирования (если в соответствии с версией они были), следами, оставленными всеми колёсами автомобилей после первого контактирования. Указать координаты их характерных точек (чтобы при трассологическом исследовании можно было бы определить место первого контакта и восстановить характер движения ТС при столкновении), а также координаты фрагментов, отделившихся от автомобилей. По результатам исследования дополнить масштабную схему промежуточными положениями транспортных средств и поясняющими надписями.

4. Можно составить объяснения свидетелей или протоколы их допросов, включив в них обстоятельства и сведения, дополняющие исходные данные (а том числе и о сигналах светофоров, работающих в обычном режиме или при отказе с указанием причин).

5. Подготовить ЗАКЛЮЧЕНИЕ, в котором следует отразить:  
- наименование заключения (по делу № ... о столкновении (дата) на перекрёстке ул. ... и ул. ... ТС ... под управлением ... и ТС ... под управлением ...);

- каким органом, кем и кому поручено проведение экспертизы, подписка о предупреждении и ответственности ...;
- краткие обстоятельства ДТП;
- вопросы, поставленные перед экспертом;
- исходные данные (к которым приложить сведения из протоколов допроса участников и свидетелей ДТП);
- провести трассологическое исследование, конкретно обосновав положение места первого контактирования по длине и ширине дороги, а также взаимное положение ТС с учётом деформации ТС, линейных и угловых размеров;
- определить начальные скорости ТС, используя различные методики, описанные в литературе и обосновать их наиболее вероятные значения;
- определить удаление ТС в момент возникновения опасной ситуации и решить вопрос о наличии у водителя, имеющего преимущество для движения, технической возможности предотвратить ДТП;
- масштабе М 1:200 изобразить схему размещения ТС, начиная с момента возникновения опасной ситуации до столкновения, и нанести на неё расчётные расстояния, поясняющие развитие дорожно-транспортной ситуации в отдельные моменты времени (например, положения ТС в моменты: обнаружения водителем, имеющим преимущество, опасности; нажатия на педаль тормоза; поворота рулевого колеса);
- выводы;
- список использованной литературы.

Нумерация исследуемых вопросов и ответов на них в выводах должна соответствовать вопросам, поставленным перед экспертом.

## 2. ТРАССОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДТП

В курсовой работе следует установить и обосновать место первого контакта по длине и ширине проезжей части, определить угловое положение ТС и характер их взаимодействия между собой.

Для решения этой задачи проводится анализ расположения следов торможения и отбрасывания автомобилей, характер деформаций с учётом их возможной «обкатки» при контактировании (в некоторых случаях используют расчётные данные, связанные с

определением наиболее вероятного коридора движения при повороте автомобиля). При исследовании реальных ДТП дополнительно следует учесть конфигурацию области разброса фрагментов, отделившихся от автомобилей.

При восстановлении механизма ДТП необходимо определить взаимное положение ТС с момента возникновения опасной ситуации до столкновения, скорости их движения в различные моменты времени, установить место первого контакта по длине и ширине проезжей части. Это является сложной задачей и решается на основе анализа характерных признаков и полученных расчетных данных. Рассмотрим наиболее важные из них.

1. Наибольшую информацию для эксперта дают следы шин на дороге. Они характеризуют действительное положение транспортных средств на проезжей части и их перемещение в процессе ДТП. В период между столкновением и осмотром места ДТП такие следы обычно изменяются незначительно (за 1 – 2 часа длина следов шин может стать короче на 0,2 – 0,3 м за счёт выветривания). Характерные следы шин показаны на рис. 3.1, а – е. Экстренное торможение автомобиля до момента столкновения может сопровождаться появлением юзовых следов (рис. 3.1, а), причём следы колёс передней и задней осей могут совмещаться. Затем характер и направление следов может меняться: расходятся траектории колёс (рис. 3.1, е) или появляются признаки поперечного смещения (рис. 3.1, в), при разгерметизации тормозного привода и продольном движении автомобиля его колёса переходят в режим качения (рис. 3.1, б).

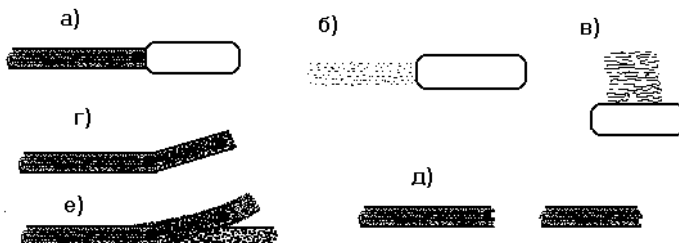


Рис. 2.1. Следы шин на поверхности дороги:

а) – заблокированное колесо; б) – катящееся колесо; в) – поперечное скольжение; г) – изменение следа заблокированного колеса; д) – разрыв следа при встречном столкновении; е) – расхождение колес разных осей

При столкновениях под углом и при эксцентричных столкновениях следы шин в месте первого контакта начинают резко смещаться в поперечном направлении (рис. 2.1, г).

Если при встречном или попутном столкновении ударный импульс направлен снизу вверх, колесо может оторваться от дороги и следы станут менее заметными (рис. 2.1, д); если импульс направлен сверху вниз, то оно может на мгновение разблокироваться, так как сила сцепления превысит тормозную силу и юзовый след прервётся.

2. Данные о расположении разлившихся жидкостей (воды, масла, антифриза, тосола), скопления осколков стекол и пластмасс, деталей автомобилей, частиц пыли, грязи с определением, откуда произошла данная осыпь, – характеризуют место столкновения лишь приблизительно, а некоторые из них могут даже за сравнительно небольшой промежуток времени измениться.

Вода, вытекшая из поврежденного радиатора, под воздействием уклона дороги может перетечь в другое место или в жаркий летний день высохнуть. Отделившиеся от автомобилей фрагменты, продолжая движение по инерции, могут сначала перемещаться по воздуху, а затем скользить и перекатываться по поверхности, иногда они переносятся столкнувшимися автомобилями и отделяются от них в моменты изменения направления и величины скорости последних.

Расстояние и направление отбрасывания фрагментов зависит не только от скорости, приобретенной ими в момент отделения от автомобиля, но и от величины и направления ветра в этот момент, размеров и плотности отделившихся частиц, а степень перемещения по поверхности зависит от условий сцепления и геометрии фрагментов, определяющей сопротивление при их перекачивании. Необходимо учитывать, что до начала осмотра фрагменты по разным причинам могут быть передвинуты.

3. Конечное положение ТС, размеры и характер повреждений, по которым можно определить взаимное перекрытие и внедрение, могут послужить дополнительными признаками, позволяющими раскрыть картину перемещения автомобилей при контакте, а в ряде случаев установить и углы их подхода.

4. Расчет траектории подхода транспортного средства к зоне столкновения, как правило, проводится, когда столкновение происходит в результате планируемой заранее смены направления движения одним из водителей или когда столкновению предшествовала попытка водителя избежать ДТП путём примене-

ния манёвра.

5. Положение места первого контакта иногда определяется, исходя из показаний участников и очевидцев ДТП. Однако свидетельские показания, как правило, неточные, что объясняется следующими причинами: стрессовым состоянием участников ДТП; кратковременностью процесса столкновения; отсутствием в зоне ДТП неподвижных предметов, по которым водители и пассажиры могут зафиксировать в памяти место столкновения; произвольным или умышленным искажением обстоятельств дела.

При исследовании следует рассматривать, возможно, большее число признаков, позволяющих восстановить события, поскольку ни один из них в отдельности не может служить достаточным основанием для окончательных выводов. Более подробно методика определения места первого контакта и положения участников описана в литературе [1, 2].

### **3. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В РАЗЛИЧНЫЕ МОМЕНТЫ ВРЕМЕНИ**

При столкновении кинетическая энергия автомобилей расходуется на их деформацию, работу трения шин о поверхность дороги, преодоление инерционного сопротивления поступательному и вращательному движению автомобилей при их отталкивании, часть энергии передаётся от одного автомобиля к другому, заставляя его менять направление и скорость движения.

Количественно оценить долю этих видов работы не представляется возможным ввиду следующего:

- сложности процессов взаимодействия контактирующих автомобилей с поверхностью дороги и между собой;
- отсутствия сведений о жесткостях и коэффициентах восстановления автомобилей при приложении ударного импульса в различных направлениях;
- в процессе контактирования меняется место приложения нагрузки, нет окончательной деформации, не всегда удаётся восстановить место первого контакта и направления движения транспортных средств;
- следствием изложенного является отсутствие методики расчёта, позволяющей с необходимой точностью восстановить

начальные параметры столкновения.

При экспертном исследовании принимают различные допущения, упрощающие решение поставленных вопросов, что, естественно, снижает достоверность результатов. Для повышения достоверности целесообразно решать одну и ту же задачу различными методами, а окончательный вывод делать на основании сопоставления совокупности влияния большинства факторов.

Одной из главных задач исследования является определение скоростей движения автомобилей в различные моменты времени, начиная с момента возникновения опасной ситуации до остановки после столкновения.

Рассмотрим пример изменения скорости автомобиля А при торможении с последующим столкновением, его замедление и пройденное расстояние с момента обнаружения водителем опасности (рис. 3.1).



### ХОЖДЕНИЯ

На рис. 3.1 обозначено:

$V_A$  – начальная скорость автомобиля А;

$V_{Ю}$  – скорость в момент времени, когда автомобиль начинает двигаться с установившимся замедлением (возможно появление следов юза);

$V_C$  – скорость в момент первого контакта;

$V_P$  – скорость в момент разъединения автомобилей;

$V_H$  – изменение скорости автомобиля А за время  $T_3$  нарастания замедления;

$\Delta V_T$  – изменение скорости при движении с установившимся замедлением до момента столкновения;

$\Delta V_C$  – изменение скорости автомобиля во время столкновения;

$\Delta V_P$  – изменение скорости с момента разъединения автомобилей до полной остановки;

$j_{УСТ}$ ,  $j_C$  и  $j'_{УСТ}$  – замедление соответственно до столкновения, при столкновении и после разъединения автомобилей;

$T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_T$  и  $T_P$  – время соответственно реакции водителя, запаздывания срабатывания привода, нарастания замедления, время торможения с  $j_{УСТ}$  и время движения после разъединения автомобилей;

$S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_T$ ,  $S_C$  и  $S_P$  – расстояние, пройденное автомобилем, соответственно, за  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_T$  и  $T_P$ .

Эксперт, как правило, располагает неполными данными, для восстановления картины изменения скорости автомобилей при ДТП, в лучшем случае – это длина и направление следов торможения, характер деформации автомобилей, степень травмирования участников ДТП, конечное положение ТС.

Некоторые величины выбираются по нормативным документам. Значение времени  $T_1$  выбирается в зависимости от характера дорожно-транспортной ситуации по [1]; время  $T_2$  и  $T_3$ , а также установившееся замедление  $j_{УСТ}$  выбираются в зависимости от категории ТС, степени его загрузки и условий сцепления (прил. 1). Значение  $j_C$  не нормируется, в зависимости от условий столкновения замедление центра масс при столкновениях может достигать 300 – 400 м/с<sup>2</sup>, а время столкновения, сопровождающееся основной деформацией, обычно не превышает  $T_C = 0,2$  с.

Замедление  $j'_{УСТ}$  после контактирования автомобилей зависит от характера их отбрасывания и возможности управляющего воздействия водителя по корректировке движения автомобиля до остановки, часто его определение представляет значительные



трудности.

Возможен случай, когда водитель во время движения отвлекается и с большим опозданием обнаруживает опасную ситуацию. Это время запаздывания будет предшествовать расчётному времени реакции водителя, в течение которого автомобиль будет двигаться без изменения скорости.

Как правило, начальную скорость автомобиля определяют в последовательности, обратной её снижению, начиная с последнего этапа – расхождение автомобилей после контактирования. Рассмотрим эти этапы.

### 3.1. Определение скорости ТС в момент их расхождения

В результате ударного взаимодействия происходит деформация ТС, а затем их отталкивание, реже зацепление и тогда они перемещаются как единое целое. В начале расхождения их кинетическая энергия переходит в работу сил взаимодействия шин с поверхностью дороги, на вращение, преодоление сопротивления подъёму и качение автомобиля.

На основании закона сохранения и превращения энергии можно записать

$$\frac{M \cdot (V')^2}{2} = A_C + A_B + A_{\Pi} + A_K, \quad (3.1)$$

где  $M$  – масса автомобиля, кг;

$V'$  – скорость автомобиля в момент расхождения, м/с;

$A_C, A_B, A_{\Pi}$  и  $A_K$  – работа, затраченная соответственно на скольжение ТС, вращение, преодоление сопротивления подъёму и сопротивления качению, Н·м.

Работа  $A_C$ , затраченная на скольжение ТС по центру масс, составляет

$$A_C = M \cdot g \cdot \varphi \cdot S_C, \quad (3.2)$$

где  $\varphi$  – коэффициент сцепления колёс с дорогой;

$S_C$  – расстояние перемещения центра масс автомобиля при скольжении, м;

$g$  – ускорение свободного падения, равное  $9,81 \text{ м/с}^2$ .

Разворот автомобиля чаще всего происходит вокруг центра масс, причём при развороте на угол меньше  $90^\circ$  колёса одной оси проходят расстояние меньше  $S_C$ , а другой оси – больше и дополнительной работой, расходуемой на разворот ТС, можно пренебречь. Если точка первого контактирования располагается на сравнительно большом расстоянии от линии, соединяющей центры масс, возможно малое продольное перемещение ТС и значительные углы разворота, в этих случаях рассчитывают  $A_C$  и  $A_B$ .

При развороте на угол, превышающий  $90^\circ$ , колёса дополнительно проходят расстояние по дуге, длина которой равна произведению радиуса дуги, по которой они вращаются относительно центра масс, на угол  $\varepsilon$  разворота, превышающий  $90^\circ$ . В первом приближении этими радиусами можно принять расстояния  $a$  и  $b$  от центра масс автомобиля до соответствующей оси. В этом случае работа  $A_B$ , расходуемая на разворот автомобиля, будет

$$A_B = R_{Z1} \cdot a \cdot \varphi \cdot \varepsilon_1 + R_{Z2} \cdot b \cdot \varphi \cdot \varepsilon_1, \quad (3.3)$$

где  $R_{Z1}$  и  $R_{Z2}$  – реакция опорной поверхности соответственно для передней и задней осей;

$L$  – база автомобиля, м;

$a$  и  $b$  – расстояние от центра масс автомобиля до передней и задней осей соответственно, м;

$\varepsilon_1$  – дополнительный угол разворота автомобиля относительно начального положения, превышающий  $90^\circ$ , рад.

Реакцию опорной поверхности найдём по формуле:

$$R_{Zi} = M_i \cdot g, \quad (4.4)$$

где  $M_i$  – масса, приходящаяся на ось автомобиля, кг.

Из равенства моментов, действующих на оси автомобиля, получаем:

$$\begin{cases} R_{Z1} \cdot a = R_{Z2} \cdot b, \\ L = a + b, \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} M_{z1} \cdot a = M_{z2} \cdot b, \\ L = a + b, \end{cases} \quad (3.5)$$

где  $M_{z1,2}$  – масса, приходящаяся на оси автомобиля, кг.  
Из верхней части системы (4.5) выразим  $a$ :

$$a = \frac{M_{z2} \cdot b}{R_{z1}}, \quad (3.6)$$

и найдём  $b$ :

$$b = L - a. \quad (3.7)$$

Подставив в выражение (4.3) величины  $a$  и  $b$ , окончательно получим

$$A_B = \frac{2 \cdot M \cdot g \cdot \varphi \cdot a \cdot b \cdot \varepsilon_1}{L}. \quad (3.8)$$

Работа  $A_{\Pi}$ , затраченная на преодоление силы сопротивления подъему:

$$A_{\Pi} = M \cdot g \cdot i \cdot S_{\Pi}, \quad (3.9)$$

где  $S_{\Pi}$  – расстояние, пройденное по подъему. В том случае, когда направление движения не совпадает с направлением уклона,  $S_{\Pi}$  следует принимать как проекцию на направление уклона;

$i$  – коэффициент сопротивления подъему.

Работа  $A_K$ , затраченная на качение колес автомобиля, в Н·м равна

$$A_K = M \cdot g \cdot f \cdot S_K, \quad (3.10)$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления качению автомобиля;

$S_K$  – расстояние, пройденное автомобилем при качении.

Качение колёс автомобиля после столкновения обычно происходит с большим боковым уводом и, соответственно, с высоким сопротивлением  $f \geq (3 - 5) \cdot f_0$ , здесь  $f_0$  – коэффициент сопротивления качению при движении без увода.

Теперь можно найти скорость автомобиля при разъединении, выразив её из формулы (4.1):

$$V' = \sqrt{\frac{2 \cdot (A_C + A_B + A_{II} + A_K)}{M}}; \quad (3.11)$$

### 3.2. Определение скорости ТС в момент первого контакта по закону сохранения количества движения

На практике скорость движения автомобилей при их столкновениях определяют, используя закон сохранения количества движения. Как известно из теоретической механики, количество движения некоторой системы будет постоянным по величине и направлению, если результирующий вектор внешних сил, действующих на систему, равен нулю. При столкновениях автомобилей величина внешних сил по сравнению с силами взаимодействия крайне незначительна, поэтому их можно не принимать во внимание.

При столкновениях на перекрёстках ТС подходят к зоне пересечения центров их масс под углом обычно  $90 \pm 20^\circ$ , создавая сопротивление движению друг другу в процессе кратковременного ударного воздействия с разрушениями и деформацией. Потери энергии на эти разрушения и деформации зависят от жёсткости, упругости и деформационных свойств контактирующих частей ТС. На практике чаще всего приходится расследовать столкновения с большими перемещениями ТС и высоким уровнем потерь на трение шин. В первом приближении потерями энергии на деформации и разрушения можно пренебречь, поскольку перемещения ТС в расчётах принимают от их положения в момент первого контакта, хотя в данный момент полной реализации сцепления шин ещё нет.

Рассматривая столкновения с заметным перемещением ТС от зоны первого контакта в конечное положение, когда ТС взаимодействуют между собой практически полными своими массами, можно проводить расчёты по координатам центров масс ТС и углу разворота их продольных осей.

С учётом указанного выше, по закону сохранения количества движения можно считать, что вектор равнодействующей количества движения двух автомобилей до столкновения и после

него остается неизменным по величине и направлению. Параллелограммы, построенные на векторах количества движения автомобилей до столкновения и после него, будут иметь общую диагональ, представляющую собою вектор равнодействующей количества движения автомобилей в момент их столкновения. Это положение может быть выражено зависимостью

$$\vec{Q}_A + \vec{Q}_B = \vec{Q}'_A + \vec{Q}'_B, \quad (3.12)$$

где  $Q_A$  и  $Q_B$  – векторы количества движения до столкновения, кг·м/с;

$Q'_A$  и  $Q'_B$  – векторы количества движения после столкновения, кг·м/с.

Так как количество движения – это произведение массы  $M$  и скорости  $V$ :

$$Q = M \cdot V, \quad (3.13)$$

то зависимость (4.12) можно записать:

$$M_A \cdot \vec{V}_A + M_B \cdot \vec{V}_B = M_A \cdot \vec{V}'_A + M_B \cdot \vec{V}'_B, \quad (3.14)$$

где  $M_A$  и  $M_B$  – массы автомобилей А и В;

$V_A$  и  $V_B$  – скорости движения автомобилей А и В до столкновения;

$V'_A$  и  $V'_B$  – скорости движения автомобилей А и В в момент расхождения.

Выражение (4.14) является основным исходным расчетным уравнением при исследовании столкновения автомобилей на перекрестках при большом взаимном перекрытии полос движения ТС относительно друг друга.

На рис. 4.1 показан пример схемы столкновения на перекрестке. Водитель автомобиля А, следуя по главной дороге, столкнулся с автомобилем В, выезжавшим на его полосу движения. Водитель автомобиля В рассчитывал, что он, не снижая скорости, успеет завершить манёвр левого поворота, не создавая помех автомобилю А (не вынуждая водителя автомобиля А предпринимать торможение). В то же время водитель автомобиля А начал тормозить и смещать свой автомобиль на встречную полосу движения, надеясь на то, что водитель автомобиля В предпримет торможение и его можно будет объехать слева.

При таком столкновении оба автомобиля обычно совер-



шают

сложное движение, так как в результате каждый из автомобилей начинает вращаться около своего центра тяжести.

Центр тяжести ТС А и В в свою очередь перемещается под некоторым углом к первоначальному направлению движения. После столкновения центр тяжести автомобиля А переместился на расстояние  $CA C'_A = S_{CA}$ , а центр тяжести автомобиля В на расстояние  $CB C'_B = S_{CB}$ .

Для построения параллелограмма количества движения сначала по формуле (4.11) необходимо найти скорость каждого автомобиля в момент разъединения.

Далее следует определить количество движения  $Q_A$  и  $Q_B$  по направлениям их движения до столкновения и после разъединения, построив параллелограмм количества движения. Для этого выберем точку О и через неё проведем ось  $V'_A$  в направлении движения центра масс автомобиля А после столкновения, а ось  $V'_B$  по направлению движения центра масс автомобиля В после столкновения. Затем на этих осях отложим векторы количества движения  $Q'_A$  и  $Q'_B$  (рис. 4.4) и найдём их равнодействующую  $Q_{AB}$ , являющуюся диагональю параллелограмма.

Для этого выберем точку О и через неё проведем ось  $V'_A$  в направлении движения центра масс автомобиля А после столкновения, а ось  $V'_B$  по направлению движения центра масс автомобиля В после столкновения. Затем на этих осях отложим векторы количества движения  $Q'_A$  и  $Q'_B$  (рис. 3.4) и найдём их равнодействующую  $Q_{AB}$ , являющуюся диагональю параллелограмма.

На рис. 4.3 обозначены:

$\varepsilon_{A(B)}$  – угол разворота ТС А(В);

$CA(C'_A)$  – положение центра масс автомобиля А в момент первого контакта (остановки);

$CB(C'_B)$  – положение центра масс автомобиля А в момент первого контакта (остановки);

$X_A(Y_B)$  – направление движения центра масс автомобиля А(В) до столкновения;

$V_A(V'_B)$  – направление движения центра масс автомобиля А(В) в момент расхождения.

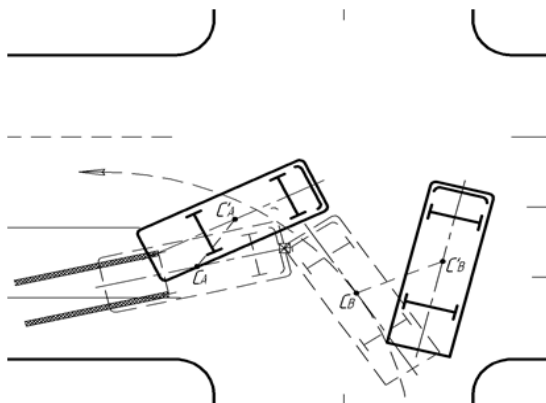


Рис. 3.2. Пример схемы столкновения на перекрёстке: сплошные линии – ТС после столкновения, штриховые – в момент первого контакта

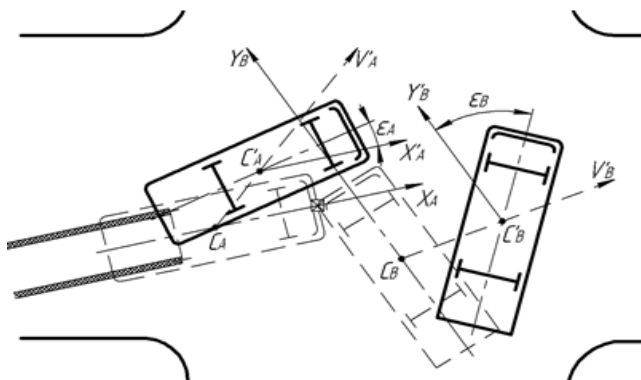


Рис. 3.3. Схема столкновения автомобилей для расчета по графическому методу

Для этого выберем точку  $O$  и через неё проведем ось  $V'_A$  в направлении движения центра масс автомобиля  $A$  после столкновения, а ось  $V'_B$  по направлению движения центра масс автомобиля  $B$  после столкновения. Затем на этих осях отложим векторы количества движения  $Q'_A$  и  $Q'_B$  (см. рис. 3.4) и найдём их равнодействующую  $Q_{AB}$ , являющуюся диагональю



параллелограмма.

Затем через конец равнодействующего вектора проведём прямые, параллельные начальным направлениям движения автомобилей А и В до столкновения, соответственно,  $X_A$  и  $Y_B$  (см. рис. 3.4). Эти прямые пересекаются, образуя векторы  $Q_A$  и  $Q_B$ .

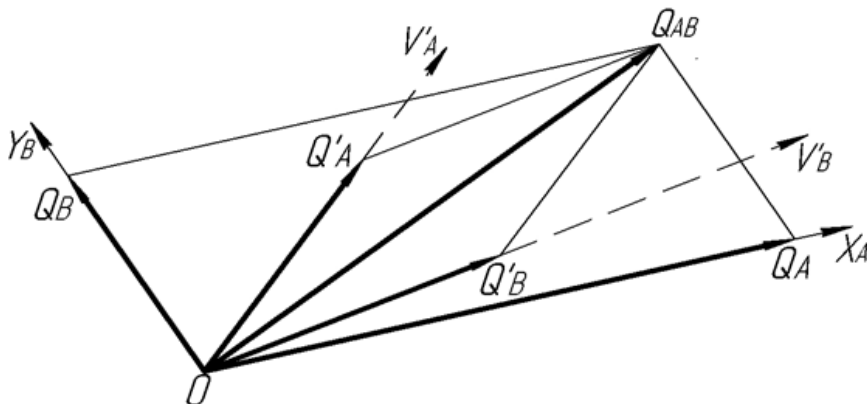


Рис. 3.4. Диаграмма векторов количества движения

На рис. 3.4 обозначены:

$Q_{A(B)}$  – количество движения автомобиля А(В) до столкновения;

$Q'_{A(B)}$  – количество движения автомобиля А(В) в момент расхождения;

$Q_{AB}$  – равнодействующий вектор;

линии  $X_A(Y_B)$  – направления движения автомобиля А(В) до столкновения;

линии  $V'_A(V'_B)$  – направления движения центра масс автомобилей А(В) после столкновения.

Так как параллелограммы количества движения строятся в масштабе с соблюдением углов направления векторов скоростей центров масс до и после столкновения, то по известной массе и вектору количества движения можно найти скорость ТС при первом контакте, выразив её из формулы (4.13):

$$V_{A(B)} = \frac{Q_{A(B)}}{M_{A(B)}}. \quad (3.15)$$

При этом построении направления векторов количества

движения ТС на подходе к зоне столкновения проводятся через центры масс ТС как касательные к их траекториям, если ТС двигались с поворотом. Полученные по векторной диаграмме значения скоростей в момент столкновения следует проверить, исходя из условий сцепления и вероятного коэффициента  $\mu$  боковой перегрузки:

$$V_{\max} \leq \sqrt{R \cdot \varphi_{\gamma} \cdot g} \quad \text{или} \quad V_{\max} \leq \sqrt{R \cdot \mu \cdot g}, \quad (3.16)$$

где  $\varphi_{\gamma}$  – коэффициент сцепления в боковом направлении;

$\mu$  – коэффициент боковой перегрузки, его предельное значение, при котором еще ощущается удобство движения, составляет  $\mu = 0,2$  [9]. (В эксплуатационном режиме поворота обычно  $\mu < 0,3$ ).

Распределение реализации сцепления в зоне контакта шин с опорной поверхностью происходит в зависимости от распределения скоростей скольжения (или проскальзывания) по направлениям  $OX$  и  $OY$  с сохранением условия

$$\varphi_x^2 + \varphi_y^2 = \varphi^2.$$

Количественное соотношение между  $\varphi_x$  и  $\varphi_y$  можно определить лишь при моделировании динамики движения ТС. На практике же можно руководствоваться на основе исследований рекомендациями работ [1, 10]: в условиях высокого сцепления  $\varphi_y = 0,8 \varphi$ , а в условиях низкого сцепления  $\varphi_y = \varphi$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий – М.: Транспорт, 2007. – 255 с.
2. Боровский Б.Е. Безопасность движения автомобильного транспорта – Л.: Лениздат, 20144. – 304 с.
3. Залуга В.П., Буйленко В.Я. Пассивная безопасность автомобильной дороги – М.: Транспорт, 2007. – 189 с.
4. Постановление СМ РФ от 23.10.1993г. № 1090.
5. Правила дорожного движения Российской Федерации. – М.: Транспорт, 2019. – 64 с.
6. Краткий автомобильный справочник / А.Н. Понизовкин, Ю.М. Власко, М.В. Ляликов и др. – М.: АО «Трансконсалтинг», НИИАТ, 2004. – 779 с.
7. Балакин В.Д. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: Учебное пособие. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2005. –

136 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

**Значение установившегося замедления  $J_{уст}$ , м/с<sup>2</sup>, транспортных средств, производство которых начато после 01.08.1981 г., в зависимости от их нагрузки и коэффициента сцепления шин с дорогой**

Категория АТС	φ	$J_{уст}$ , м/с <sup>2</sup>											
		Одиночные ТС						Автопоезда					
		M1	M2	M3	N1	N2	N3	M1	M2	M3	N1	N2	N3
Снаряженное состояние	0,7	6,8	6,8	5,7	5,7	5,9	6,2	6,1	5,7	5,5	4,7	5,5	5,5
	0,6	5,9	5,9	5,7	5,7	5,9	5,9	5,9	5,7	5,5	4,7	5,5	5,5
	0,5	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,7	4,9
	0,4	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
	0,3	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
	0,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
50 % нагрузки	0,7	6,6	6,1	5,6	5,1	5,2	5,4	5,7	5,1	5,3	4,4	5,0	5,0
	0,6	5,9	5,9	5,6	5,1	5,2	5,4	5,7	5,1	5,3	4,4	5,0	5,0
	0,5	4,9	3,9	4,9	4,9	4,9	4,9	3,9	3,9	3,9	4,4	4,9	4,9
	0,4	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
	0,3	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
	0,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Полная масса	0,7	6,3	5,4	5,4	4,5	4,58	4,5	5,2	4,5	5,0	4,0	4,5	4,5
	0,6	5,9	5,4	5,4	4,5	4,5	4,5	4,9	4,5	4,9	4,0	4,5	4,5
	0,5	4,9	4,9	4,9	4,5	4,5	4,5	4,9	4,5	4,9	4,0	4,5	4,5
	0,4	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
	0,3	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
	0,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

## Приложение 2

**Зависимость значений времени запаздывания срабатывания тормозной системы  $t_2$  и  $t_3$  времени нарастания замедления АТС, производство которых начато после 01.08.1981 г., в зависимости от их нагрузки и коэффициента сцепления шин с дорогой**

Категория АТС	$\varphi$	$t_3, c$											
		Одиночные ТС						Автопоезда					
		M1	M2	M3	N1	N2	N3	M1	M2	M3	N1	N2	N3
Снаряженное состояние	0,7	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,35	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6
	0,6	0,3	0,5	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6
	0,5	0,25	0,45	0,5	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5	0,5	0,35	0,55	0,55
	0,4	0,2	0,35	0,4	0,25	0,4	0,4	0,2	0,4	0,45	0,3	0,45	0,45
	0,3	0,15	0,25	0,3	0,2	0,3	0,3	0,15	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3
	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,15	0,2	0,2
50 % нагрузки	0,7	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6
	0,6	0,3	0,55	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6
	0,5	0,3	0,55	0,6	0,35	0,55	0,55	0,3	0,55	0,55	0,35	0,6	0,6
	0,4	0,2	0,4	0,4	0,25	0,45	0,45	0,25	0,45	0,45	0,3	0,5	0,5
	0,3	0,15	0,3	0,3	0,2	0,35	0,35	0,2	0,35	0,35	0,25	0,35	0,35
	0,2	0,1	0,2	0,2	0,15	0,25	0,25	0,15	0,25	0,25	0,15	0,25	0,25
Полная масса	0,7	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6
	0,6	0,3	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6
	0,5	0,25	0,55	0,55	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6	0,35	0,6	0,6
	0,4	0,2	0,45	0,45	0,3	0,5	0,5	0,25	0,5	0,45	0,35	0,5	0,5
	0,3	0,15	0,3	0,3	0,25	0,4	0,4	0,2	0,4	0,35	0,25	0,4	0,4
	0,2	0,1	0,2	0,2	0,15	0,25	0,25	0,15	0,25	0,25	0,2	0,25	0,25

$t_2$	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

## Приложение 3

**Основные характеристики транспортных средств**

№	ТС	$M_A$	$M_{1A}$	$M_0$	$M_{10}$	$D$ , м	$Ш$ , м	$L$ , м	$C_1$ ,м	$K_1/K_2$
1	ВАЗ-1106	1445	662	1045	560	4,17	1,61	2,42	0,65	1,37/1,32
2	АЗЛК-2141	1470	730	1070	550	4,35	1,69	2,58	0,74	1,44/1,44
3	ГАЗ-3102	1800	820	1400	710	4,885	1,8	2,80	0,95	1,49/1,43
4	ВАЗ-2121	1550	750	1150	680	3,72	1,68	2,20	0,68	1,43/1,40
5	УАЗ-2206	2780	1330	1855	1025	4,44	2,10	2,30	0,98	1,45/1,45
6	ВАЗ-2110	1420	710	980	570	4,277	1,676	2,49	0,78	1,40/ 1,37
7	ИЖ-2715	1590	630	1100	580	4,1	1,6	2,40	0,67	1,25/1,24
8	УАЗ-469	2450	1020	1650	890	4,03	1,79	2,38	0,68	1,44/1,45
9	ВАЗ-2115	1395	700	970	565	4,33	1,62	2,46	0,78	1,40/1,37
10	ВАЗ-2108	1325	670	900	545	4,006	1,65	2,46	0,78	1,40/1,37
11	УАЗ-3152	2150	920	1590	810	4,025	1,785	2,38	0,68	1,46/1,46
12	Chevrolet Niva	1760	800	1310	750	4,06	1,75	2,45	0,60	1,45/1,45
13	ГАЗ - 24	1760	800	1420	755	4,76	1,82	2,8	0,75	1,47/1,42
14	ГАЗ-3110	1870	890	1470	780	4,96	1,846	2,8	0,95	1,48/1,42
15	Toyota Carina	1600	820	1120	700	4,53	1,70	2,58	0,70	1,40/1,37
16	ВАЗ-21099	1340	675	915	555	4,06	1,65	2,46	0,78	1,40/1,37
17	Toyota Camry	1820	900	1400	800	4,72	1,80	2,62	0,80	1,65/1,48
18	Ford Focus	1690	830	1392	800	4,36	1,84	2,64	0,70	1,54/1,53
19	Renault Logan	1535	620	975	560	4,25	1,742	2,63	0,68	1,48/1,47
20	Daewoo Nexia	1620	800	1070	625	4,48	1,65	2,52	0,80	1,44/1,40

$M_A$  и  $M_0$  – полная и снаряженная массы ТС;

$M_1$  – масса, приходящаяся на переднюю ось ТС;

$D$ ,  $Ш$  и  $L$  – соответственно длина, ширина и база ТС;

$C_1$  – передний свес ТС;

$K_1/K_2$  – колея передних/задних колес ТС.