УДК.656.081

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОРМОЗНОЙ ДИНАМИКИ АВТОМОБИЛЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ

А.Н. Туренко, профессор, д.т.н., В.И. Клименко, профессор, к.т.н., А.В. Сараев, доцент, к.т.н., А.О. Малявин, студент, ХНАДУ

Аннотация. *Рассмотрена проблематика исследования процесса торможения автомобилей после дорожно-транспортного происшествия. Проанализированы неточности в определении установившегося замедления современного автомобиля при использовании экспертами устаревшей статистической базы данных.*

Ключевые слова**:** *автомобиль, процесс, торможение, замедление, расчет, эксперимент, происшествие, исследование.*

ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЛЬМІВНОЇ ДИНАМІКИ АВТОМОБІЛЯ ПРИ АНАЛІЗІ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНОЇ ПОДІЇ

А.М. Туренко, професор, д.т.н., В.І. Клименко, професор, к.т.н., О.В. Сараєв, доцент, к.т.н., А.О. Малявін, студент, ХНАДУ

Анотація. *Розглянуто проблематику дослідження процесу гальмування автомобілів після дорожньо-транспортної події. Проаналізовано неточності у визначенні сталого уповільнення сучасного автомобіля при використанні експертами застарілої статистичної бази даних.*

Ключові слова: *автомобіль, процес, гальмування, уповільнення, розрахунок, експеримент, подія, дослідження.*

RESEARCH OF VEHICLE'S BRAKING DYNAMICS AT TRAFFIC ACCIDENT ANALYSIS

A. Turenko, Professor, Doctor of Technical Science, V. Klimenko, Professor, Candidate of Technical Science, A. Sarayev, Associate Professor, Candidate of Technical Science, A. Maliavin, student, KhNAHU

Abstract. *The problem of vehicles braking process after the road accident is reviewed. The inaccuracies are analyzed for the purpose of deceleration determination occurance at the application of out-of-date statistical database by experts.*

Key words: *car, process, braking, deceleration, calculation, experiment, incident, research.*

Введение

Основным научным направлением кафедры автомобилей ХНАДУ является исследование и совершенствование тормозных систем автомобиля. В настоящее время серийно выпускается целый ряд тормозных аппаратов, разработанных специалистами кафедры, обеспечивающих торможение автомобиля в соответствии с отечественными и международными нормативами.

Анализ публикаций

Как показывают теоретические и экспериментальные исследования специалистов ХНАДУ, тормозная эффективность современных легковых автомобилей выше, чем у

автомобилей с устаревшей конструкцией тормозов [1]. Аналогичные результаты высокой эффективности параметров торможения современных легковых автомобилей опубликованы и ведущим судебным экспертом России в области дорожно-транспортной экспертизы профессором Суворовым Ю.Б. [2]. Несмотря на это, при анализе дорожно-транспортного происшествия (ДТП) эксперты автотехники в Украине вынуждены использовать устаревшие статистические данные по оценке тормозной эффективности автомобиля [3–5]. Проблема налицо – для повышения точности и качества проведения судебной автотехнической экспертизы в Украине необходимо расширять и дополнять методические рекомендации по определению тормозной эффективности легковых автомобилей, оборудованных современной системой тормозов.

Цель и постановка задачи

Цель работы – усовершенствовать методику, используемую экспертами МВД и Минюста Украины для оценки тормозной эффективности автомобиля после ДТП.

Задачи – выполнить теоретический анализ процесса торможения автомобиля; провести экспериментальные исследования процесса торможения автомобиля, оборудованного современной системой тормозов; выполнить сравнительный анализ статистических данных, используемых экспертами, для оценки тормозной эффективности автомобиля после ДТП.

Теоретические и экспериментальные исследования процесса торможения автомобиля

Для учета и анализа большинства факторов, влияющих на величину установившегося замедления, рассмотрим процесс торможения автомобиля (рис. 1). Запишем уравнение баланса сил, действующих на тормозящий легковой автомобиль в установившейся фазе торможения [6]

$$P_j - P_w - P_T - P_f \pm P_\lambda + P_K = 0\,, \qquad (1)$$

где P_j – сила инерции автомобиля с учетом вращающихся масс, ($P_j = mj\delta_1$); P_w – сила сопротивления воздуха, $P = 0,5C_x\rho FV^2$; P_T – реализуемая тормозная сила на колесах, $P_T = \varphi mg\cos\lambda$; P_f – сила сопротивления качению колес, ($P_f = fmg\cos\lambda$); P_λ – сила сопротивления подъему, ($P_\lambda = mg\sin\lambda$); P_K – движущая сила на ведущих колесах при работающем двигателе и включенном сцеплении, P_λ=0, когда двигатель отключен от трансмиссии.

Развернутое уравнение баланса сил, действующих на тормозящий автомобиль, не расписывая силу сопротивления воздуха, можно представить в следующем виде

$$\begin{aligned}&\delta_i mj - P_W - \varphi mg\cos\lambda - \\ &- fmg\cos\lambda \pm mg\sin\lambda = 0,\end{aligned} \qquad (2)$$

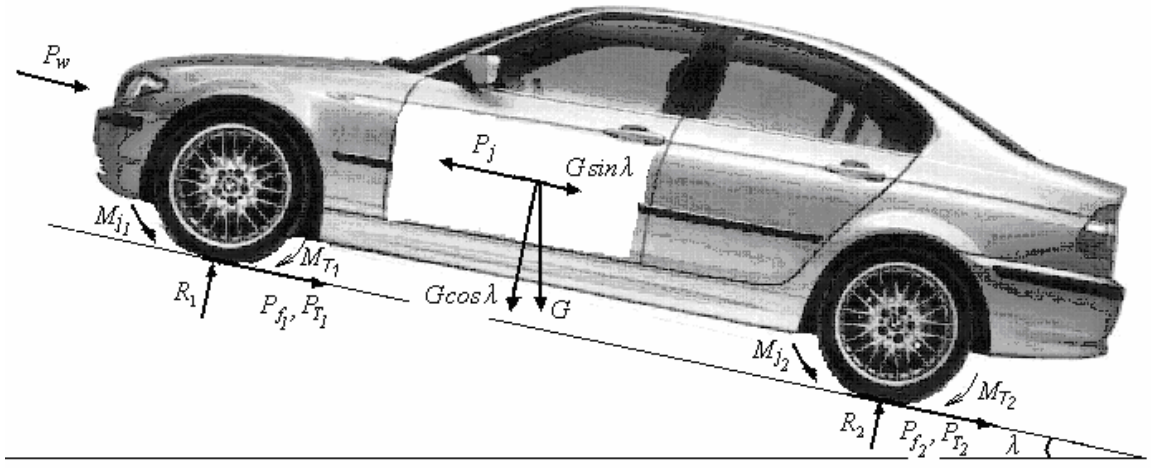

Рис. 1. Схема сил, действующих на тормозящий автомобиль

где m – масса автомобиля, кг; δ_i – коэффициент инерции вращающихся масс; λ – угол продольного уклона дороги в градусах; f – коэффициент сопротивления качению колес; g – ускорение свободного падения.

Коэффициент инерции вращающихся масс δ_i учитывает инерционные моменты колес M_{j1}, M_{j2} и инерционные моменты вращающихся элементов трансмиссии.

Одним из основных критериев оценки эффективности рабочей тормозной системы является установившееся замедление. Найдем из уравнения баланса сил величину замедления автомобиля

$$j = \left(\frac{P_W}{mg} + \varphi\cos\lambda + f\cos\lambda \pm \sin\lambda \right) \frac{g}{\delta_i}. \quad (3)$$

Такое уравнение позволяет при расчете установившегося замедления учитывать большинство конструктивных факторов, действующих на тормозящий автомобиль.

В существующей экспертной практике для упрощения расчетов не учитывается сила сопротивления воздуха. Считается, что это не вносит существенной ошибки в расчет величины замедления.

Кроме того, при экстренном торможении автомобиля, не оборудованного антиблокировочной системой тормозов, колеса блокируются, либо находятся на грани блокирования. Это позволяет при выше перечисленных условиях пренебречь в расчетах инерцией вращающихся деталей автомобиля.

Тогда теоретически установившееся замедление автомобиля на ровном участке зависит только от коэффициента сцепления шин с дорогой

$$j = \varphi \cdot g. \quad (4)$$

При отсутствии экспериментальных данных коэффициент сцепления шин с дорогой выбирают в зависимости от состояния опорной поверхности в пределах φ = [0,1; 0,8] (табл. 1).

Следует отметить, что коэффициент сцепления зависит не только от качества дорожного покрытия, но и от конструкции и качества самой шины, степени ее износа, а также температуры в пятне контакта шины с дорогой. На практике полное и одновременное использование сцепного веса всеми колесами автомобиля встречается очень редко. Это связано с множеством причин, основные из которых: нестабильность работы тормозного привода и тормозных механизмов, неравномерность распределения весовой нагрузки по осям и колесам автомобиля.

Поэтому значения замедления, рассчитанные по формуле (4), получаются выше реальных значений.

Таблица 1 Коэффициент сцепления шин дорогой

Тип покрытия	Значения коэффициента	
	на сухом покрытии	на мокром покрытии
Асфальтобетонное	0,7–0,8	0,4–0,6
Булыжник, щебень	0,6–0,7	0,3–0,5
Грунтовое	0,5–06	0,2–0,4
Укатанный снег	0,2–0,3	
Гололед	0,1–0,2	

Таблица 2 Коэффициент эффективности торможения

Категория		В снаряженном состоянии				С полной нагрузкой			
		0,8	0,7	0,6	0,5	0,8	0,7	0,6	0,5
M_1		1,28	1,12	1,00	1,00	1,50	1,32	1,13	1,00
M_2		1,42	1,24	1,07	1,00	1,74	1,52	1,30	1,09
M_3		1,56	1,37	1,17	1,00	1,74	1,52	1,30	1,09
N_1		1,45	1,27	1,09	1,00	1,96	1,71	1,47	1,22
N_2		1,37	1,20	1,03	1,00	1,96	1,71	1,47	1,22
N_3		1,28	1,12	1,00	1,00	1,96	1,71	1,47	1,22
Автопоезд	N_1	1,66	1,46	1,25	1,04	1,96	1,71	1,47	1,22
	N_2	1,60	1,40	1,20	1,00	1,96	1,71	1,47	1,22
	N_3	1,56	1,37	1,17	1,00	1,96	1,71	1,47	1,22

Таблица 3 Параметры торможения ТС в снаряженном состоянии на асфальте

Категория ТС	Время запаздывания торможения t_2, с	Время нарастания торможения t_3, с		Замедление автомобиля j, м/с^2	
		сухое покрытие	мокрое покрытие	сухое покрытие	мокрое покрытие
M_1	0,2	0,4	0,3	(6,7/6,4)*	5,0
M_2	0,2	0,5	0,4	6,0	4,5
M_3	0,3	0,6	0,5	(5,3/5,0)**	4,0
N_1	0,3	0,4	0,3	5,6	4,5
N_2	0,3	0,6	0,4	(5,9/5,7)**	4,0
N_3	0,3	0,6	0,4	6,1	4,0
N_3 (автопоезд)	0,4	0,7	0,4	5,1	4,0

Примечания: * – в числителе для автомобилей с усилителем, в знаменателе – без усилителя;
** – в числителе для автомобилей с гидроприводом, в знаменателе с пневмоприводом.

Чтобы снизить погрешность расчета, в формулу (4) вводят поправочный коэффициент, который в различных источниках имеет разные названия: коэффициент эксплуатационных условий торможения, коэффициент эффективности торможения, коэффициент эксплуатационного состояния тормозов. Тогда выражение (4) принимает вид

$$j = \frac{\varphi \cdot g}{k_e}, \qquad (5)$$

где k_e – коэффициент эффективности торможения автомобиля.

Известно, что коэффициент эффективности торможения находится в пределах k_e = [1,0; 1,96] и берется тем выше, чем больше масса автомобиля и коэффициент сцепления шин с дорогой (табл. 2).

Для всех категорий автомобильных транспортных средств, независимо от загрузки, коэффициент эффективности торможения принимается равным единице (k_e = 1) при коэффициенте сцепления $\varphi \le 0{,}4$.

Установившееся замедление автомобиля является основным параметром экспертного расчета тормозной эффективности автомобиля. Поэтому выводы эксперта во многом будут зависеть от правильности и достоверности установленной величины замедления. Общим недостатком теоретического метода определения замедления является то, что он оперирует рядом произвольно выбираемых коэффициентов, значения которых находятся в широком диапазоне. По данным проф. Илларионова В.А., значения параметров торможения автомобиля, рассчитанные двумя различными экспертами, могут отличаться друг от друга на 30 % [3]. Поэтому во избежание значительных расхождений в расчетах экспертам предлагается руководствоваться среднестатистическими данными (табл. 3) [3, 4].

Вместе с тем нельзя считать данные табл. 3 полностью объективными, поскольку, например, согласно данной таблицы значение замедления грузовых автомобилей увеличивается с 5,6 м/с^2 до 6,1 м/с^2 по мере возрастания категории от N_1 до N_3, то есть увеличения полной массы автомобиля.

Такая тенденция изменения тормозной эффективности характерна лишь для устаревших конструкций автомобилей, таких как ИЖ, УАЗ, ЕрАЗ. Собственно говоря, на базе этих автомобилей и были проведены в свое время испытания по оценке тормозной эффективности автомобиля, результатами которых руководствуются эксперты и в настоящее время.

Другие, несколько отличающиеся данные от табл. 3, получены при испытаниях 14 групп автомобилей таких производителей как ВАЗ, ГАЗ, РАФ, ПАЗ, ЛАЗ, УАЗ, ЕрАЗ, ЛиАЗ, ЗИЛ, КАЗ, КрАЗ, МАЗ, КамАЗ и т.п. [5]. Анализ этих данных позволяет выборочно представить те из них, которые относятся к более новым конструкциям автомобилей, например, марки ВАЗ (табл. 4).

В настоящее время отсутствуют рекомендации по выбору или расчету величины замедления автомобиля, оборудованного современной системой тормозов. Этот недостаток вызывает в экспертных расчетах дополнительную погрешность. Поэтому у экспертов возникает вопрос относительно правильно-

сти выбора величины замедления по установленным среднестатистическим данным, например, для автомобиля BMW-520i или любого другого современного автомобиля, оборудованного современной системой тормозов.

Результаты тормозных испытаний, выполненные специалистами ХНАДУ, показали, что у автомобиля BMW-520i 2002 года выпуска в снаряженном состоянии на сухом, ровном асфальтобетонном покрытии достигается замедление 7,8 м/с^2 (табл. 5). Аналогичное значение замедления BMW-520i можно получить путем расчета по формуле (5) при φ = 0,8, приняв значение k_e=1 (пренебрегая рекомендациями табл. 2, которые необходимо выдерживать в отношении автомобилей с устаревшей конструкцией тормозной системы).

Анализируя полученные экспериментальные значения замедления BMW-520i, можно сделать вывод, что тормозная эффективность современного автомобиля, оборудованного антиблокировочной системой тормозов, выше на 3–14 % по сравнению со статистическими данными (табл. 3, 4), рекомендуемыми для экспертного расчета при проведении автотехнической экспертизы.

Таблица 4 Значения замедления j (м/с^2) для ТС с гидроприводом тормозов

Коэффициент сцепления, φ	Категории M_1, N_1		Категория M_2		Категория M_3		Категория N_2	
	порожний	груженый	порожний	груженый	порожний	груженый	порожний	груженый
0,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
0,3	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
0,4	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
0,5	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,5	4,9	4,9
0,6	5,9	5,9	5,9	5,4	5,9	4,7	5,9	4,9
0,7	6,9	6,7	6,9	5,4	6,7	4,9	6,3	4,9
0,8	7,5	6,7	7,5	5,4	6,7	4,9	6,3	4,9

Таблица 5 Результаты испытаний автомобиля BMW-520i

Номер испытания	1	2	3	4	Среднее значен.
Длина тормозного пути, м	13,9	10,8	12,7	11,8	12,3
Установившееся замедление, м/с^2	7,88	7,88	7,75	7,69	7,8
Начальная скорость, км/ч	44,8	41,2	41,9	42,7	42,6
Время срабатывания тормозов, с	0,5	0,37	0,45	0,35	0,4
Усилие на педали, Н	290	320	330	300	310

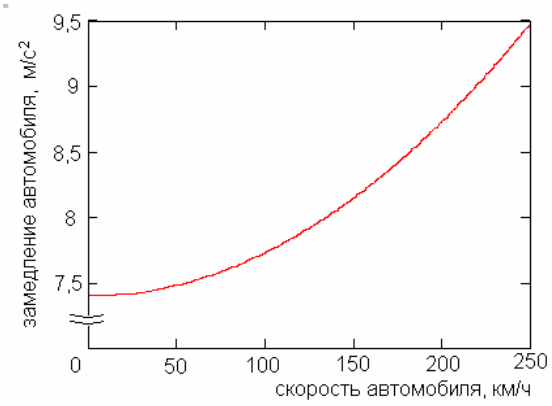

Рис. 2. Расчетная зависимость замедления автомобиля в установившейся фазе торможения от изменения скорости движения автомобиля

Испытания легкового автомобиля, при проверке его тормозной эффективности, предписано проводить на скорости 40 км/ч. Наряду с этим в экспертной практике отсутствуют какие-либо данные, корректирующие методику расчета эффективности торможения автомобиля, движущегося на предельных скоростях. Проанализируем этот факт с позиции того, что сила сопротивления воздуху растет пропорционально квадрату скорости автомобиля. Очевидно, что это будет способствовать нелинейному изменению величины замедления в установившейся фазе торможения (рис. 2).

Современные автомобили, эксплуатируемые в Украине, способны развивать максимальную скорость в пределах 180–240 км/ч. При этом максимально разрешенная скорость может составлять 130–140 км/ч. Поэтому не исключено, что исследуемое ДТП может происходить в диапазоне скоростей 130–240 км/ч. В таком случае тормозная эффективность автомобиля в соответствии с графиком (рис. 2) возрастает с 7,8 м/с^2 до 8–9,5 м/с^2**,** т.е. на 2,5–17,9 %. Этот факт в экспертном исследовании ДТП также не учитывается.

Выводы

1. Существующие рекомендации в экспертной практике по выбору среднестатистических данных установившегося замедления, полученных при испытаниях устаревших конструкций легковых автомобилей советского производства, в настоящее время требуют дополнения и дальнейшего методического развития с учетом совершенствования тормозных систем автомобиля.

2. Тормозная эффективность легкового автомобиля, оборудованного современной системой тормозов, выше на 3–14 % по сравнению со статистическими данными, которые рекомендуется использовать для экспертного расчета при проведении автотехнической экспертизы в Украине.

3. С целью получения более точных статистических данных величины замедления легковых автомобилей, оборудованных современной системой тормозов, необходимо проведение дальнейших научных исследований с использованием методов математической статистики.

4. В диапазоне скоростей 130–240 км/ч тормозная эффективность автомобиля теоретически возрастает на 2,5–17,9 %. Этот факт требует дальнейшей экспериментальной проверки, поскольку не исключено, что исследуемое ДТП может происходить в указанном диапазоне скоростей.

Литература

1. Туренко А.Н. Автотехническая экспертиза : учебное пособие / А.Н. Туренко, В.И. Клименко, А.В. Сараев. – Харьков : ХНАДУ, 2007. – 156 с.
2. Суворов Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. Судебно-экспертная оценка действий водителей и других лиц, ответственных за обеспечение безопасности дорожного движения, на участках ДТП : учебное пособие для вузов / Ю.Б. Суворов. – М. : «Экзамен», «Право и закон», 2004. – 208 с.
3. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий : учебник для ВУЗов / В.А. Иларионов. – М. : Транспорт, 1989. – 255 с.
4. Судебная автотехническая экспертиза в 2 ч. / Под научн. руков. В.А. Иларионова. – М. : Министерство юстиции СССР, 1980. – Ч. 2. – 491 с.
5. Экспертная практика и новые методы исследования / Результаты систематизации экспериментально-расчетных значений параметров торможения автотранспортных средств // Информационный сборник в 3 ч. – М. : ВНИИ судебных экспертиз, 1990. – 29 с.
6. Туренко А.Н. Совершенствование способов регулирования выходных параметров тормозной системы автотранспортных средств / А.Н. Туренко, В.А. Богомолов, В.И. Клименко, В.И. Кирчатый, С.Я. Ходырев. – Харьков : ХНАДУ, 2002. – 400 с.

Рецензент: В.П. Волков, д.т.н., профессор, ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 1 апреля 2010 г.