

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ НА СЦЕПНЫЕ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Евтюков С.А.

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: s.a.evt@mail.ru

Рассмотрены изменения величины коэффициента сцепления под влиянием различных факторов, проведен анализ изменений. Подробно представлена зависимость коэффициента сцепления от состояния вида дорожного покрытия, от скорости автомобиля для покрытий с различной шероховатостью.

Представлен коэффициент сцепления для различных дорожных покрытий, находящихся в удовлетворительном состоянии, а также в зимних условиях.

Условия движения в период действия неблагоприятных метеорологических явлений значительно сложнее, чем при сухом, чистом покрытии и обочинах. Эти различия определяются снижением сцепных качеств покрытия, изменением взаимодействия автомобиля с дорогой, ухудшением ровности покрытия под влиянием осадков, гололеда, тумана, повышенной влажности воздуха и других факторов.

Состояние поверхности автомобильных дорог оценивается качественными характеристиками: сухое, влажное, мокрое, заснеженное, гололед. Представлены показатели надежности контакта автомобильной шины с дорожным покрытием.

Ключевые слова: коэффициент сцепления, автомобильная дорога, дорожное покрытие, шероховатость дорожного полотна, шины, автомобиль.

INFLUENCE OF FACTORS ON COUPLING QUALITIES OF COVERINGS OF HIGHWAYS

Evtyukov S.A.

State educational institution of high professional education «Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering», Saint Petersburg, Russia, e-mail: s.a.evt@mail.ru

Changes of size of factor of coupling under the influence of various factors are considered, the analysis of changes are carried. Dependence of factor of coupling on a condition of a type of a paving, on a speed of the car for coverings with a various roughness is in detail presented.

The factors of coupling for various pavings is presented, being in a satisfactory condition and also in winter conditions.

Traffic conditions in action of adverse weather conditions is much more difficult, than at a dry, pure road covering and roadsides. These differences are determined by reduction coupling coverage properties, changes in the interaction of the vehicle with the road, deterioration of flatness of road covering under the influence of a precipitation, sleet, fog, high humidity and other factors. The condition of a surface of highways is estimated by qualitative characteristics: dry, damp, wet, snow-covered, ice. Indicators of reliability of contact of a car tire with a paving are presented.

Key words: factor of coupling, highway, road covering, roughness of the road cloth, tires, vehicle.

Введение

Дорожные условия оказывают значительное влияние на сцепные качества покрытий автомобильных дорог, влияние на режим и безопасность движения как отдельных автомобилей, так и всего потока транспортных средств в целом. Большая роль в обеспечении безопасности движения принадлежит основным технико-эксплуатационным показателям автомобильных дорог [1]. К числу таких показателей, в частности, относятся ровность и шероховатость дорожного покрытия, влияющие на коэффициент сцепления. Существенное

влияние на величину коэффициента сцепления оказывают скорость движения транспортного средства, состояние протекторов шин, неровности дороги, давление и температура в шинах и т.д.

Цель исследования: установить факторы, влияющие на сцепные качества покрытий автомобильных дорог.

Материалы и методы: сцепление покрытия автомобильных дорог следует оценивать приборами ПКРС или ППК-МАДИ-ВНИБД в соответствии с прилагаемыми к ним инструкциями по эксплуатации. Контроль линейных параметров, характеризующих техническое состояние автомобильных дорог, следует осуществлять с помощью линейки (рулетки).

Результаты и обсуждение. В начальной стадии эксплуатации дороги коэффициент (φ) сцепления на всем протяжении автомагистрали при измерениях со скоростью $V=60$ км/ч на мокрых покрытиях должен быть $\varphi \geq 0,45$, а на участках со сложными условиями движения (переходно-скоростные полосы, ramпы пересечений в разных уровнях, участки разделения и слияния потоков) – $\varphi \geq 0,5$. При этом снижение коэффициента сцепления с увеличением скорости с 60 до 80 км/ч не должно превышать 0,05 на основном протяжении автомобильной дороги и 0,10 на участках со сложными условиями движения. Коэффициенты сцепления в процессе эксплуатации автомобильной дороги (включая покрытия остановочных полос) должны быть $\varphi \geq 0,4$ при измерениях на скорости $V=60$ км/ч и мокром покрытии. Вне зависимости от числа полос движения и средних скоростей транспортных потоков сцепные качества покрытия в поперечном профиле должны быть одинаковыми [2]. Разница коэффициентов сцепления не должна превышать (0,05÷0,10) в пределах проезжей части и (0,10÷0,15) на краевых укрепленных полосах по сравнению с проезжей частью. Сцепные качества покрытий в основном определяются шероховатостью, которая должна обеспечивать высокие коэффициенты сцепления (φ) в продолжение всего срока службы покрытия, быстрый сток воды с проезжей части, минимальные изменения коэффициента (φ) сцепления по сезонам года, по ширине проезжей части, наименьший износ протектора шин и оптимальный уровень шума. Этому комплексу требований в наибольшей степени удовлетворяют покрытия, поверхность которых имеет среднюю высоту выступов $\geq 1,5$ мм. Коэффициент сцепления φ представляет собой отношение максимально возможного на данном участке дороги значения силы сцепления между шинами транспортного средства и поверхностью дороги $P_{сц}$ к весу этого транспортного средства G_a :

$$\varphi = \frac{P_{сц}}{G_a}, \quad (1)$$

Необходимость в определении коэффициента сцепления возникает при расчете замедления при экстренном торможении транспортного средства, решении ряда вопросов, связанных с маневром и движением на участках с большими углами наклона. Величина его зависит главным образом от типа и состояния покрытия дороги, поэтому приближенное значение коэффициента для конкретного случая может быть определено по таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициента сцепления в зависимости от состояния и вида дорожного покрытия

Вид дорожного покрытия	Состояние покрытия	Коэффициент сцепления (ϕ)
Асфальт, бетон	сухой	0,7 ÷ 0,8
	мокрый	0,5 ÷ 0,6
	грязный	0,25 ÷ 0,45
Бульжник, брусчатка	сухие	0,6 ÷ 0,7
	мокрые	0,4 ÷ 0,5
Грунтовая дорога	сухая	0,5 ÷ 0,6
	мокрая	0,2 ÷ 0,4
	грязная	0,15 ÷ 0,30
Песок	влажный	0,4 ÷ 0,5
	сухой	0,2 ÷ 0,3
Асфальт, бетон	обледенелые	0,09 ÷ 0,10
Укатанный снег	обледенелый	0,12 ÷ 0,15
Укатанный снег	без ледяной корки	0,22 ÷ 0,25
Укатанный снег	обледенелый, после россыпи песка	0,17 ÷ 0,26
Укатанный снег	без ледяной корки, после россыпи песка	0,30 ÷ 0,38

Существенное влияние на величину коэффициента сцепления оказывают скорость движения транспортного средства, состояние протекторов шин, давление в шинах и ряд других неподдающихся учету факторов.

Шероховатость и состояние дорожного покрытия проезжей части должны обеспечивать требуемую величину сцепления колеса с покрытием, которая характеризуется коэффициентом сцепления [3]. При этом коэффициент сцепления должен быть $\geq 0,3$ при измерении его шиной без рисунка протектора и 0,4 шиной, имеющей рисунок протектора.

Показатель сцепных качеств и шероховатости покрытий, или коэффициент

относительного сцепления колес с покрытием (коэффициент скользкости), вычисляется как отношение величины фактического коэффициента сцепления φ_f к допустимой величине этого коэффициента φ_0 :

$$K_c = \frac{\varphi_f}{\varphi_0} \geq 1 \quad (2)$$

Коэффициент сцепления зависит от вида покрытия, его состояния, типа и конструкции шин, рисунка протектора шин, степени изношенности покрытия, скорости движения, нагрузки на колесо, температуры и других факторов (рис. 1, табл. 2). Наибольшее влияние оказывают вид и состояние покрытия, а также скорость движения. Поэтому для объективной оценки состояния дорог необходимо в каждом случае измерять коэффициент сцепления при нормированной скорости 60 км/ч. Табличными значениями коэффициента сцепления можно пользоваться только для оценочных расчетов. В таблице 2 приведены значения коэффициента сцепления при скорости движения 20 км/ч для шин с нормальным протектором. Коэффициент сцепления при других скоростях:

$$\varphi_v = \varphi_{20} - \beta_\varphi (V - 20), \quad (3)$$

где β_φ – коэффициент изменения сцепных качеств от скорости (принимают в зависимости от типа и состояния покрытия в табл. 2).

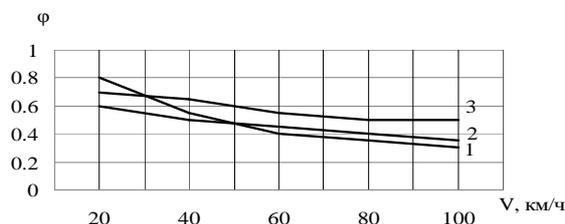


Рис. 1. Зависимость коэффициента сцепления от скорости автомобиля для покрытий с различной шероховатостью: 1 – песчаный асфальтобетон; 2 – многощербнистый асфальтобетон; 3 – поверхностная обработка.

Таблица 2 – Значения коэффициентов сцепления и изменения сцепных качеств

Покрытие	Состояние покрытия											
	эталонное (сухое)		мокрое (чистое)		мокрое (грязное)		рыхлый снег		уплотненный снег		гололед	
	φ_n	β_φ	φ_n	β_φ	φ_n	β_φ	φ_n	β_φ	φ_n	β_φ	φ_n	β_φ
Цементобетонное	0,80-0,85	0,00-2	0,65-0,70	0,00-35	0,40-0,45	0,002-5	0,15-0,35	0,001-0,004	0,20-0,50	0,002-5	0,08-0,15	0,0-0,02
Асфальтобетонное с шероховатой обработкой	0,80-0,85	0,00-35	0,60-0,65	0,00-35	0,45-0,55	0,003-5	0,15-0,35	0,001-0,004	0,20-0,50	0,002-5	0,10-0,20	0,0-0,02

Горячий асфальтобетон без шероховатой обработки	0,80-0,85	0,002	0,50-0,60	0,0035	0,35-0,40	0,0025	0,15-0,35	0,001-0,004	0,20-0,50	0,0025	0,08-0,15	0,002
Холодный асфальтобетон	0,60-0,70	0,005	0,40-0,50	0,004	0,30-0,35	0,0025	0,12-0,30	0,001-0,004	0,20-0,50	0,0025	0,08-0,15	0,002
Черно-щебеночное и черно-гравийное с шероховатой обработкой	0,60-0,70	0,004	0,50-0,60	0,004	0,30-0,35	0,0025	0,15-0,35	0,001-0,004	0,20-0,50	0,0025	0,10-0,20	0,002
То же, без обработки	0,50-0,60	0,004	0,40-0,50	0,005	0,25-0,30	0,003	0,12-0,30	0,001-0,004	0,20-0,50	0,0025	0,08-0,15	0,002
Щебеночное и гравийное	0,60-0,70	0,004	0,55-0,60	0,0045	0,30-0,35	0,003	0,15-0,35	0,001-0,004	0,20-0,50	0,0025	0,10-0,15	0,002
Грунтовое улучшенное	0,40-0,50	0,005	0,25-0,40	0,005	0,20	0,003	0,12-0,30	0,001-0,004	0,20-0,50	0,0025	0,08-0,18	0,002

Факторы, изменяющие коэффициент сцепления: *скорость движения* (с увеличением скорости движения ϕ снижается. На сухом ледяном покрытии этого не наблюдается); *неровности дороги* (неровности увеличивают частоту вертикальной нагрузки – ϕ снижается из-за изменяющихся условий в месте контакта шины с дорогой и из-за подпрыгивания колес на неровностях); *пропитка вяжущими материалами поверхности дорог* (избыток вяжущих материалов делает поверхность скользкой, в жаркую погоду вяжущий материал размягчается, выступает на поверхность дороги, при этом ϕ уменьшается); *увлажнение покрытия* (в начале дождя ϕ уменьшается из-за того, что из влаги, дорожная пыль, частицы резины, капли нефтепродуктов и т.п. образуют жидкую грязь, по которой, как по смазке, скользят колеса); *продолжительность эксплуатации дорожного покрытия* (при увеличении срока эксплуатации покрытия ϕ уменьшается из-за уменьшения шероховатости); *шероховатость покрытия* (чем больше шероховатость, тем значительнее площадь контакта дороги с шиной, при этом улучшается зацепление и ϕ возрастает. Наибольшая высота неровностей покрытия не должна превышать 4-5 мм. Слишком большая шероховатость покрытия приводит к уменьшению ϕ); *обледенение поверхности дороги*, образование на ней снежного покрова (ϕ при этом очень мал; он несколько увеличивается при понижении температуры воздуха от 0 °С до -15 °С); *замасливание поверхности дороги* (замасливание дороги нефтепродуктами резко снижает ϕ . Как на сухих, так и на мокрых дорогах к середине полосы движения ϕ почти на 30% меньше); *характер сцепления колеса с дорогой* (наибольший ϕ наблюдается при продольном качении без бокового скольжения при

продольном проскальзывании порядка 10÷15%. При заблокированном колесе (юз) ϕ несколько снижается); *увеличение нагрузки на колесо* (на твердых покрытиях дорог при увеличении нагрузки ϕ снижается); *повышение давления в шинах* (при увеличении давления воздуха в шинах ϕ первоначально повышается, затем начинает убывать); *повышение температуры шины* (с увеличением температуры шины сцепление на бетонных поверхностях несколько ухудшается, на асфальтобетонных – улучшается, ϕ в этом случае увеличивается из-за прилипания элементов протектора к поверхности дороги, что наблюдается при высокой температуре в зоне контакта в случае интенсивного торможения); *износ протектора шины* (при полном истирании рисунка протектора шины ϕ снижается на 35÷45%. Особенно сильно он уменьшается при движении на мокрых и грязных дорогах (примерно еще на 20÷25%)); *тип рисунка протектора шин* (шины с рисунком протектора повышенной проходимости на мягком снеге и неуплотнённом грунте имеют больший ϕ , чем шины с дорожным рисунком. На мокром покрытии шины с рисунком протектора, имеющим большую расчлененность, обеспечивают более высокий коэффициент сцепления); *вид материала* (шины из высокогистерезисных резин обеспечивают больший ϕ); *шероховатость покрытия* (чем больше шероховатость, тем значительнее площадь контакта дороги с шиной, при этом улучшается зацепление и ϕ возрастает. Наибольшая высота неровностей покрытия не должна превышать 4-5 мм. Слишком большая шероховатость покрытия приводит к уменьшению ϕ).

Во всех расчетных формулах коэффициент сцепления необходимо принимать соответственно виду и состоянию покрытия, скорости движения. Исходя из этого максимально возможная скорость на горизонтальном участке и на подъеме по сцеплению колеса автомобиля с дорогой с учетом сопротивления качению определяется по формуле:

$$V_{\phi, \max} = \frac{m_{20} - f_{20} - i}{m\beta\phi + K_f} + 20, \quad (4)$$

где- K_f – коэффициент сцепного веса (для легковых автомобилей – 0,5÷0,55, для грузовых – 0,65÷0,75).

Следует иметь в виду, что в нормативных документах обычно приведены значения коэффициента сцепления при скорости 60 км/ч. В этом случае, чтобы перейти к другой скорости, можно также пользоваться формулой (3), подставив вместо ϕ_{20} значение ϕ_{60} , а вместо скорости 20 км/ч – скорость 60 км/ч:

$$\phi_2 = (0.5 - 0.85)\phi_1. \quad (5)$$

Состояние поверхности дорог оценивается качественными характеристиками: сухое, влажное, мокрое (чистое и загрязненное), заснеженное (покрытие с рыхлым снегом или

уплотненным слоем снега – снежный накат), гололед и т.д.

Условия движения в период действия неблагоприятных метеорологических явлений значительно сложнее, чем при сухом, чистом покрытии и обочинах. Различия определяются рядом факторов, основными из которых являются: снижение сцепных качеств покрытия, изменение взаимодействия автомобиля с дорогой, ухудшение ровности покрытия под влиянием осадков, гололеда, тумана, повышенной влажности воздуха и других факторов. При выпадении осадков в виде дождя на поверхности покрытия образуется слой воды, который начинает заметно влиять на сцепные свойства уже при толщине пленки более 0,2 мм, снижая адгезионную составляющую силы трения. Коэффициент сцепления резко снижается в начальный период дождя, когда образуется густая смазка на поверхности. После того как грязь с поверхности покрытия смыта дождем, коэффициент сцепления несколько увеличивается. В дорожной практике показателем надежности контакта автомобильной шины с дорожным покрытием служит величина сопротивления скольжению автомобильной шины по поверхности проезжей части дороги, оцениваемая значением коэффициента сцепления (табл. 3, 4) [4].

Таблица 3 – Коэффициент сцепления для различных дорожных покрытий, находящихся в удовлетворительном состоянии

Дорожные условия	Сухое покрытие	Мокрое покрытие
Асфальто- и цементобетонное покрытие	0,7 ÷ 0,8	0,4 ÷ 0,5
Гравийное покрытие	0,6 ÷ 0,7	0,3 ÷ 0,4
Грунтовая дорога	0,5 ÷ 0,6	0,2 ÷ 0,4
Дорога, покрытая укатанным снегом	0,2 ÷ 0,3	0,2 ÷ 0,3
Обледенелая дорога	0,1 ÷ 0,2	0,1 ÷ 0,2

1. Значения коэффициента сцепления даны для скорости 40 км/ч.

2. При увеличении скорости движения АТС и изношенных шинах, а также на грязных покрытиях, коэффициент сцепления резко снижается[5].

Таблица 4 – Коэффициент сцепления в зимних условиях

Дорожное покрытие	Коэффициент сцепления
Асфальтобетонное покрытие с тонким слоем ледяной корки (гололёд)	0,09 ÷ 0,10
Укатанный ровный снеговой покров с обледеневшей поверхностью (после поливки водой)	0,12 ÷ 0,15

Укатанный ровный снеговой покров (толщина 50 см) без ледяной корки	0,22 ÷ 0,25
Укатанный снеговой покров (толщина 50 см) после прохода грейдера	0,24 ÷ 0,28
Укатанный снеговой покров с обледеневшей поверхностью после россыпи песка по норме 0,1 м ³ на 1000 м ² дороги	0,17 ÷ 0,19
Укатанный снеговой покров с обледеневшей поверхностью после россыпи песка по норме 0,4 м ³ на 1000 м ² дороги	0,25 ÷ 0,26
Укатанный снеговой покров (толщиной 50 см) после россыпи песка по норме 0,4 м ³ на 1000 м ² дороги	0,30 ÷ 0,38

Выводы

1. Выявлены факторы, существенно влияющие на сцепные качества покрытий автомобильных дорог: скорость движения транспортных средств, состояние протекторов шин, давление в шинах.

2. Состояние поверхности автомобильных дорог оценивается качественными характеристиками: сухое, влажное, мокрое, заснеженное, гололед.

3. Показателем надежности контакта автомобильной шины с дорожным покрытием служит величина сопротивления скольжению автомобильной шины по поверхности проезжей части дороги.

Список литературы

1. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Дорожно-транспортные происшествия: расследование, реконструкция, экспертиза / под общ. ред. С.А. Евтюкова. – СПб. : ДНК, 2008. – 392 с.

2. Евтюков С.А. Условия и вероятность возникновения ДТП // Мир дорог. – 2010. – № 45. – С. 62-64.

3. Евтюков С.А., Хролов С.А. Оценка влияния геометрических параметров и сцепных качеств автодороги на безопасность дорожного движения. Труды молодых ученых // Интеграция / СПб. гос. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2000. – Ч. 2. – С. 98–100.

4. Евтюков С.А., Медрес Е.П. Проектирование и строительство облегченных насыпей с применением EPS-блоков // Автомобильные дороги. – 2007. – № 10. – С. 73-75.

5. Евтюков С.А. [и др.] Строительство, расчет и проектирование облегченных насыпей. – СПб. : Петрополис, 2009. – 260 с.

Рецензенты

Добромиров В.Н. д.т.н., профессор, директор Института безопасности дорожного движения, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург.

Волков С.А. д.т.н., профессор кафедры транспортно-технологических машин, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург.