



# АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТОВ сцепления шин автомобилей с покрытиями дорожных одежд

Цель исследований: выполнить анализ фактических коэффициентов сцепления шин автомобилей с покрытием и сравнить их с требованиями нормативно-технической документации.

А.М. Кулижников, д.т.н., профессор; М.В. Михайленко, инженер; М.А. Кухтин, к.э.н.; Д.С. Гумненко, аспирант («ФАУ «РОСДОРНИИ»)

**Д**ля достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- ♦ разобраться, в чем состоит отличие требуемых и рекомендуемых коэффициентов сцепления в нормативно-технической документации;
- ♦ сравнить фактические коэффициенты сцепления на сети автомобильных дорог федерального и регионального значения;
- ♦ определить зависимость коэффициента сцепления от материала покрытия и расчетной скорости движения транспортного потока;
- ♦ оценить влияние современных технологических решений из Реестра новых и наилучших технологий, материалов и технологических решений повторного применения (РННТ) на коэффициент сцепления;
- ♦ представить рекомендации по результатам выполненных исследований на сети автомобильных дорог федерального и регионального значения.

Сцепление шин автомобиля с покрытием автомобильных дорог зависит от многих факторов, среди которых выделяют материал и состояние (сухое, мокрое, грязь, снег, выпотевание вяжущего, пролитые горюче-смазочные материалы и т.д.) дорожного покрытия, массу автомобиля и состояние его шин (в том числе давление в шинах), скорость движения автомобиля, геометрические параметры автомобильной дороги (продольные уклоны и радиусы в плане), а также особенности климатических условий в каждой дорожно-климатической зоне (частота образования гололеда, эксплуатация в снежном

Таблица 1. Рекомендуемые коэффициенты сцепления колеса автомобиля с покрытием при вводе дороги в эксплуатацию

Категория автомобильной дороги	Расчетная скорость, км/ч	Коэффициент сцепления, не менее
IB, IB, II, III	100 – 120	0,35
IA	Более 120	0,4

накате и т.д.). В данной статье будут затронуты только несколько из них, которые могут быть проанализированы по результатам обобщения статистического материала.

Коэффициент сцепления может иметь разные значения при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог.

При проектировании по заложенным в расчеты значениям коэффициента сцепления определяются геометрические параметры элементов автомобильных дорог, в этом случае коэффициент сцепления должен иметь те же значения, что и при эксплуатации. При строительстве, реконструкции, капитальном ремонте и ремонте, когда создается новое покрытие, коэффициенты сцепления должны иметь максимальные значения, чтобы их запаса хватило на срок эксплуатации до следующего ремонта.

На сегодняшний день в одних и тех же документах можно увидеть обязательные нормативные требования и рекомендуемые параметры. К нормативным требованиям относят те минимальные значения параметров, которые должны быть выдержаны по стандартам (ГОСТ, ПНСТ). К рекомендуемым значениям параметров относятся желаемые параметры, которые, как правило, превышают минимальные нормативные значения и существенно улучшают условия эксплуатации дорожных сооружений.

Так, согласно п. 8.9.1 ГОСТ Р 59120 «Дороги автомобильные



Рисунок 1. Установка типа ПКРС

общего пользования. Дорожная одежда. Общие требования»: «Значение коэффициента сцепления дорожного покрытия должно соответствовать требованиям ГОСТ Р 50597 и быть не ниже 0,3 при его измерении по методике ГОСТ 33078», что относится к нормативному требованию при эксплуатации автомобильной дороги. Данные значения должны учитываться и при проектировании автомобильных дорог.

В соответствии с п. 8.9.2 ГОСТ Р 59120: «Для обеспечения соответствия во времени требованиям, предъявляемым ГОСТ Р 50597 «Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля» к минимально допустимому значению коэффициента сцепления, при вводе в эксплуатацию после строительства, капитального ремонта либо ремонта, связанного с устройством верхнего слоя, защитного слоя, слоя износа рекомендуется устраивать покрытия со значениями коэффициента сцепления 1. согласно следующей таблице 1.

Таблица 2. Фактические средние значения коэффициентов сцепления на автомобильных дорогах федерального и регионального значения

Вид дорожных работ	Средние значения коэффициентов сцепления по категориям федеральных/региональных автомобильных дорог									
	I		II		III		IV		V	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
Новое строительство	0,45/0,52	0,44/0,52	0,61/0,42	0,59/0,37	0,49/0,54	0,45/0,47	-/0,44	-/0,43	-/0,47	-/0,45
Реконструкция	0,48/0,45	0,43/0,41	0,50/0,43	0,46/0,41	0,59/0,44	0,32/0,38	-/0,46	-/0,44	-/0,47	-/0,45
Капитальный ремонт	0,49/-	0,44/-	0,52/-	0,46/-	0,51/0,49	0,47/0,47	0,48/0,47	0,40/0,41	-	-
Ремонт	0,51/0,51	0,45/0,45	0,50/0,46	0,44/0,38	0,49/0,45	0,45/0,37	0,48/0,51	0,46/0,39	-/0,44	-/0,34
Среднее значение	0,48/0,49	0,44/0,46	0,53/0,44	0,49/0,39	0,52/0,48	0,42/0,42	0,48/0,47	0,43/0,42	-/0,46	-/0,41
Среднее значение	0,485	0,45	0,485	0,44	0,50	0,42	0,475	0,435	0,46	0,41

Как мы видим, рекомендуемые значения коэффициента сцепления несколько выше требуемого нормативного значения.

В целях определения рекомендуемых значений коэффициентов продольного сцепления колес автомобилей с покрытием РОСДОРНИИ была собрана информация о фактических значениях по актам ввода при приемке участков федеральных и региональных дорог РФ в эксплуатацию. Запросы были направлены в 176 организаций, поступили ответы от 74 управлений.

По результатам представленных сведений был выполнен анализ измеренных коэффициентов сцепления на федеральных и региональных автомобильных дорогах по результатам приемочной диагностики после нового строительства, реконструкции, капитального ремонта и ремонта автомобильных дорог за 2016–2018 гг. включительно. Определение коэффициента сцепления на федеральных и региональных дорогах выполнялось после завершения дорожно-строительных работ по методике ГОСТ 33078–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Методы измерения сцепления колеса автомобиля с покрытием» с помощью установки типа ПКРС методом полной блокировки измерительного колеса стандартного (рисунок 1). При использовании других приборов (в частности, портативных) их показания приводились к показаниям прибора типа ПКРС.

В таблице 2 приведены результаты измеренных фактических коэффициентов сцепления. Чтобы захватить весь диапазон измеренных значений, на каждой дороге были учтены средние минимальные и средние максимальные значения коэффициентов продольного сцепления.

Таблица 3. Средний коэффициент сцепления на автомобильных дорогах федерального и регионального значения за 2020 год в зависимости от ДКЗ

Автомобильные дороги	Средний коэффициент сцепления в разных дорожно-климатических зонах			
	I	II	III	IV
Федерального значения	0,42	0,43	0,44	0,41
Регионального значения	0,47	0,40	0,45	0,42

Таблица 4. Средний коэффициент сцепления на автомобильных дорогах регионального значения за 2021 год в зависимости от ДКЗ

Автомобильные дороги	Средний коэффициент сцепления в разных дорожно-климатических зонах			
	I	II	III	IV
Регионального значения	0,46	0,40	0,44	0,41

Из представленных данных следует, что коэффициент сцепления не зависит от вида дорожных работ (строительство, реконструкция, капитальный ремонт и ремонт). Согласно сопоставительному анализу, значение коэффициентов сцепления по федеральным дорогам среднее максимальное — 0,51, а среднее минимальное — 0,45; по региональным дорогам, соответственно, — 0,50 и 0,42. При этом диапазон изменения коэффициентов сцепления на федеральных дорогах 0,06 меньше, чем на региональных 0,08.

Минимальные значения коэффициентов сцепления зафиксированы для дорог низких категорий IV–V. Таким образом, средние значения коэффициентов сцепления по федеральным и региональным автомобильным дорогам, измеренные при сдаче объектов в эксплуатацию, не только соответствуют, но и превышают нормативные требования ГОСТ 33220–2015 «Дороги автомобильные общего пользования. Требования к эксплуатационному состоянию» и ГОСТ Р 50597–2017 и рекомендуемые значения по ГОСТ Р 59120.

Далее в целях определения, как изменяется коэффициент сцепления при эксплуатации автомобильных дорог, был осуществлен сбор сведений о коэффициентах сцепления на федеральных автомобильных

дорогах I–V категории по результатам диагностики автомобильных дорог за 2020 г. Сформированы сопоставительные таблицы по 29 ФКУ с данными на 595 участках автомобильных дорог федерального значения.

Одновременно по материалам отчетов РОСДОРНИИ о фактических коэффициентах сцепления на региональных дорогах в 2020 и 2021 годах, определенных при мониторинге в рамках деятельности Общеотраслевого центра компетенций по новым материалам и технологиям для строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог при реализации НП БКД на территории 84 субъектов Российской Федерации, были проанализированы результаты по 2431 участку.

Выполнена статистическая обработка собранных результатов, составлены сопоставительные таблицы.

В таблице 3 указан средний коэффициент сцепления на автомобильных дорогах федерального и регионального значения за 2020 год в различных ДКЗ.

Средние значения коэффициента сцепления на федеральных автомобильных дорогах за 2020 и 2021 годы в различных дорожно-климатических зонах (ДКЗ) существенно не отличаются друг от друга и находятся соответственно



в диапазоне от 0,41 до 0,44 и от 0,40 до 0,47. Большой разброс в средних коэффициентах сцепления наблюдается на автомобильных дорогах регионального значения, меньший — федерального значения. Средние значения коэффициента сцепления на автомобильных дорогах регионального значения за 2021 г. в различных ДКЗ находятся в диапазоне от 0,40 до 0,46, что незначительно отличается от результатов 2020 г. (см. таблицу 3). Также можно констатировать, что с момента ввода автомобильных дорог регионального значения после строительства, реконструкции или ремонтных работ в течение года эксплуатации средний коэффициент сцепления снизился на 0,01 во всех ДКЗ, за исключением II.

Была проанализирована динамика изменения среднего коэффициента сцепления на автомобильных дорогах регионального значения от расчетной скорости движения (таблица 5), которая соответствует категории автомобильной дороги. Из таблицы 5 следует, что средний коэффициент сцепления с момента ввода автомобильной дороги регионального значения после строительства, реконструкции или ремонтных работ не изменился за год эксплуатации.

Выполнен анализ изменения среднего значения коэффициента сцепления на автомобильных дорогах регионального значения при различных материалах покрытия (асфальтобетон, щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА)) для разных дорожно-климатических зон (таблицы 6 и 7). Анализ таблиц 6 и 7 свидетельствует, что в I и III ДКЗ средний коэффициент сцепления у ЩМА выше, чем у асфальтобетона, в то время как в II и IV ДКЗ — наоборот. Разброс в значениях среднего коэффициента сцепления у ЩМА составляет от 0,38 до 0,49, в то время как у асфальтобетона он значительно меньше (от 0,42 до 0,46), что свидетельствует о более стабильных свойствах асфальтобетона в сравнении с ЩМА. Одновременно говорит о том, что на региональных дорогах не во всех регионах удается достичь хорошего подбора состава ЩМА.

Таблица 5. Средний коэффициент сцепления за 2020 и 2021 гг. на участках автомобильных дорог разных категорий (с разными расчетными скоростями движения автомобилей)

Годы измерений	Средний коэффициент сцепления на автомобильных дорогах регионального значения в зависимости от категории автомобильной дороги / расчетной скорости, км/час		
	II / 120	III / 100	IV / 80
2020	0,43	0,44	0,41
2021	0,43	0,44	0,41

Таблица 6. Средний коэффициент сцепления за 2020 и 2021 гг. на автомобильных дорогах с асфальтобетонным покрытием в различных ДКЗ

Годы измерений	Средний коэффициент сцепления в разных дорожно-климатических зонах при асфальтобетонном покрытии			
	I	II	III	IV
2020	0,45	0,46	0,44	0,43
2021	0,45	0,46	0,44	0,42

Таблица 7. Средний коэффициент сцепления за 2020 и 2021 гг. на автомобильных дорогах с покрытием из ЩМА в различных ДКЗ

Годы измерений	Средний коэффициент сцепления в разных дорожно-климатических зонах при покрытии из ЩМА			
	I	II	III	IV
2020	0,49	0,38	0,46	0,41
2021	0,47	0,38	0,45	0,40

Таблица 8. Средний коэффициент сцепления за 2020 и 2021 гг. на автомобильных дорогах с асфальтобетонным покрытием на разных категориях

Годы измерений	Средний коэффициент сцепления на автомобильных дорогах регионального значения с асфальтобетонным покрытием в зависимости от категории автомобильной дороги / расчетной скорости, км/час		
	II / 120	III / 100	IV / 80
2020	0,48	0,44	0,41
2021	0,51	0,45	0,43

Таблица 9. Средний коэффициент сцепления за 2020 и 2021 гг. на автомобильных дорогах с покрытием из ЩМА на разных категориях

Годы измерений	Средний коэффициент сцепления на автомобильных дорогах регионального значения с покрытием из ЩМА в зависимости от категории автомобильной дороги / расчетной скорости, км/час		
	II / 120	III / 100	IV / 80
2020	0,37	0,43	0,41
2021	0,38	0,43	0,40

Выполнен анализ изменения среднего значения коэффициента сцепления на автомобильных дорогах регионального значения при различных материалах покрытия (асфальтобетон, ЩМА) для разных категорий автомобильных дорог с соответствующими расчетными скоростями (таблицы 8 и 9).

Из таблицы 8 следуют достаточно противоречивые результаты, средний коэффициент сцепления у асфальтобетона с момента ввода автомобильных дорог регионального значения после строительства, реконструкции или ремонтных работ после года эксплуатации повысился на 0,01–0,03.

Из таблицы 9 следуют, что средний коэффициент сцепления у ЩМА с момента ввода автомобильных дорог регионального значения после строительства, реконструкции или ремонтных работ через год эксплуатации практически остался неизменным, то есть ЩМА лучше сохраняет эксплуатационные

качества по сцеплению.

Следует отметить, что изменения в коэффициенте сцепления на 0,01–0,02 в первый год эксплуатации (которые выявлены почти на всех участках мониторинга как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения) можно отнести на некоторую погрешность измерений. На значения полученных коэффициентов сцепления, измеряемых для сравнения в последующие годы после укладки покрытия на одних и тех же участках дороги, оказывают значительное влияние различия в погодных условиях в момент измерений (весна, лето, осень, солнечная погода при высоких температурах, пасмурная при похолодании и т.п.). Вероятно несовпадение точного места измерений (абсолютных координат, на которых происходила блокировка колеса, смещение прибора в поперечном профиле покрытия), а также разные дорожные условия (подъем, спуск, прямой участок, закругление в плане).

Таблица 10. Коэффициент сцепления за 2020 и 2021 гг. на дорогах регионального значения при применении в покрытии материалов из РННТ

Наименование технологии и материалов из РННТ	Коэффициент сцепления по годам		
	2020	2021	Средний за 2 года
Асфальтобетоны с применением полимерно-модифицированного битума	0,47	0,47	0,47
ЩМА по ГОСТ Р 58406.1-2020 «ДАОП. Смеси щебеночно-мастичные асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия»	0,42	0,41	0,42
Технология холодной регенерации	0,41	0,41	0,41
Асфальтобетон по ГОСТ Р 58406.2-2020 «ДАОП. Смеси горячие асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия»	0,44	0,48	0,46
Литая эмульсионно-минеральная смесь типа «Сларри Сил»	0,56	0,56	0,56
Резино-дисперсно-армированный асфальтобетон	0,43	0,43	0,43
Асфальтобетон по ГОСТ Р 58401.1-2019 «ДАОП. Смеси щебеночно-мастичные асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия»	0,50	0,48	0,49
Покрытия из асфальтобетона, устраиваемые без материалов и технологий из РННТ	0,38	0,41	0,39

В целях установления влияния на сцепные качества покрытий, материалов и технологий из РННТ, примененных в рамках реализации национального проекта «Безопасные качественные дороги», были проанализированы результаты измерений на 85 участках автомобильных дорог в 27 регионах, которые приведены в таблице 9. Анализ результатов, представленных в таблице 10, свидетельствует, что все материалы и технологии из РННТ, применяемые в покрытиях, повышают его сцепные качества. Средний коэффициент сцепления выше, чем на участках, где материалы и технологии из РННТ не применялись.

Материалы и технологии из РННТ с применением в покрытии асфальтобетона по ГОСТ Р 58401.1-2019 и, безусловно, литая эмульсионно-минеральная смесь типа «Сларри Сил» наилучшим образом из всех сравниваемых технологий и материалов влияют на сцепление. Хорошие результаты достигнуты и при использовании асфальтобетонов с применением полимерно-модифицированных битумов, а также асфальтобетонов по ГОСТ Р 58406.2-2020, когда средний за 2 года коэффициент сцепления составляет 0,47-0,49.

В 2022 году научно-исследовательские работы по мониторингу участков автомобильных дорог в рамках национального проекта БКД были исключены из государственного задания РОСДОРНИИ.

Очевидно, что для получения обоснованных выводов наблюдений в течение двух лет недостаточно. Следовательно, можно сделать только предварительные выводы по изменению коэффициента продольного сцепления колеса автомобиля с покрытием в зависимости

от ДКЗ, категории дороги (расчетной скорости и интенсивности движения), а также от материала покрытия (в том числе из РННТ). Факторы, влияющие на сцепные качества покрытия проезжей части автомобильной дороги, требуют подтверждения или опровержения при более продолжительном периоде наблюдений.

По результатам проведенных исследований были сделаны следующие предварительные выводы:

- ♦ коэффициент сцепления на участках автомобильных дорог с материалом покрытия из асфальтобетона меньше зависит от природно-климатических условий (от разных ДКЗ), чем с покрытием из ЩМА;
- ♦ на федеральных дорогах разброс значений среднего коэффициента сцепления меньше, чем на региональных, и несущественно зависит от природно-климатических условий (от разных ДКЗ);
- ♦ средний коэффициент сцепления за год эксплуатации при материале покрытия из асфальтобетона снижается быстрее, чем при материале покрытия из ЩМА;
- ♦ существенного влияния интенсивности движения (категории дороги) на изменение коэффициента сцепления за первый год эксплуатации после проведения ремонтных работ не было выявлено;
- ♦ средний коэффициент сцепления, измеренный на участках дорог с применением в покрытии технологий из РННТ покрытия, выше, чем на участках без применения указанных технологий;
- ♦ представляется целесообразным для регионов, показавших лучшие сцепные качества (0,59-0,63) на автомобильных дорогах с покрытиями из асфальтобетона и ЩМА, поделиться накопленным опытом и информацией о применявшихся

материалах покрытия (включая составы смесей и нормативные документы, используемые при приготовлении и укладке смесей). Приведенные результаты исследований подтвердили предложения Росавтодора (А. В. Чернигов) и МАДИ (ГТУ) (Ю. В. Кузнецов), что позволило ввести новые требования к рекомендуемому коэффициенту сцепления в ГОСТ Р 59120-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Дорожная одежда. Общие требования», увязав его значение с расчетной скоростью на автомобильных дорогах. В указанном ГОСТ Р предусмотрены рекомендуемые значения минимально допустимых значений коэффициента сцепления, при вводе в эксплуатацию участков дорог: 0,35 — для IБ, IВ, II, III категорий с расчетной скоростью 100-120 км/ч; 0,40 — для дорог IA категории с расчетной скоростью более 120 км/ч.

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ

В соответствии с ГОСТ Р 59120-2020 рекомендуемые минимально допустимые значения коэффициента сцепления при вводе в эксплуатацию после строительства, реконструкции, капитального ремонта и ремонта участков дорог: 0,35 — для IБ, IВ, II, III категорий с расчетной скоростью 100-120 км/ч; 0,40 — для дорог IA категории с расчетной скоростью более 120 км/ч. Данные требования были подтверждены результатами выполненных исследований, приведенных в статье. Новые материалы и технологии из РННТ, применяемые в покрытиях, повышают коэффициент сцепления. Средний коэффициент сцепления выше, чем на участках автомобильных дорог, где материалы и технологии из РННТ не использовались. ■