

**ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМАЯ ГЛУБИНА КОЛЕИ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ЕЕ СООТВЕТСТВИЕ УСЛОВИЯМ БЕЗОПАСНОГО
ДВИЖЕНИЯ НА МОКРОМ ПОКРЫТИИ**

БОГДАНОВИЧ С. В., БУРОВА М. Г., БУРОВ Т. Г.
*(Белорусский государственный технический университет;
г. Минск, Республика Беларусь)*

Рассмотрена проблема накопления воды в колеи дорожного покрытия во время дождя и связанного с этим снижения критической скорости аквапланирования на автомобильных дорогах Республики Беларусь. Показано, что предельно допустимые значения глубины колеи приводят к возникновению аквапланирования при скоростях значительно ниже разрешенных и не обеспечивают нормативный коэффициент сцепления.

Ключевые слова: *аквапланирование, колейность, коэффициент сцепления, безопасность дорожного движения, автомобильные дороги.*

Колейность дорожного покрытия является одним из наиболее распространенных дефектов автомобильных дорог с нежесткими дорожными одеждами. На автомобильных дорогах Республики Беларусь глубина колеи на отдельных участках иногда достигает значительных величин, при этом формально покрытие может считаться соответствующим нормативным требованиям.

Предельно допустимая глубина колеи на автомобильных дорогах Республики Беларусь регламентируется СТБ 1291-2016 «Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения» [1] и зависит от уровня требований к эксплуатационному состоянию, изменяясь от 30 до 50 мм. Данные значения являются одними из наименее строгих среди стран со сходными климатическими условиями: для сравнения, в Российской Федерации по ГОСТ Р 50597-2017 [2] предельно допустимая глубина колеи составляет 20–30 мм в зависимости от категории дороги, а в Германии, Швеции и Финляндии – 15–20 мм.

Одновременно действующая нормативная база устанавливает требования к коэффициенту сцепления колеса автомобиля с покрытием. Согласно ТКП 682-2025 «Автомобильные дороги общего пользования. Правила проектирования» [3], коэффициент сцепления на новых покрытиях должен составлять не менее 0,50 при расчетных скоростях свыше 120 км/ч, не менее 0,45 – при скоростях от 100 до 120 км/ч и не менее 0,40 – при скоростях до 100 км/ч. В части эксплуатационных

требований СТБ 1291 устанавливает, что коэффициент сцепления колеса с покрытием должен быть не менее 0,35.

Колея представляет собой своеобразный продольный лоток, в котором во время дождя аккумулируется вода, не имеющая возможности свободного стока в поперечном направлении. Толщина водяной пленки в зоне колеи многократно превышает ту, которая формируется на ровном покрытии при аналогичных условиях. Это создает предпосылки для возникновения аквапланирования – явления, при котором между шиной и покрытием образуется сплошной гидродинамический клин, полностью исключающий контакт протектора с дорогой. При наступлении аквапланирования коэффициент сцепления падает до нуля, автомобиль теряет управляемость и способность к торможению.

Критическая скорость, при которой наступает аквапланирование, зависит от толщины водяной пленки, давления воздуха в шинах, остаточной глубины рисунка протектора и других факторов. При значительной глубине колеи и, соответственно, большой толщине водяного слоя критическая скорость может оказаться значительно ниже разрешенной скорости движения. Водители, как правило, не осознают этой опасности и не снижают скорость в достаточной мере, что приводит к потере управления и дорожно-транспортным происшествиям.

Целью настоящей статьи является расчетная оценка критической скорости аквапланирования и остаточного коэффициента сцепления при предельно допустимых по СТБ 1291 значениях глубины колеи в характерных для Республики Беларусь условиях дождевого воздействия, а также обоснование необходимости корректировки действующих нормативных требований к допустимой глубине колеи.

Для оценки условий возникновения аквапланирования необходимо последовательно определить толщину водяной пленки на покрытии, критическую скорость аквапланирования и остаточный коэффициент сцепления при заданной скорости движения.

Толщина водяной пленки на ровном покрытии (без колеи) определяется по эмпирической зависимости, рекомендованной FHWA [4]:

$$h_0 = 0,01 \cdot \left(\frac{q \cdot L}{S} \right)^{0,5} \cdot MTD^{-0,2}, \quad (1)$$

где h_0 – толщина водяной пленки на покрытии без колеи, мм;

q – интенсивность дождя, мм/ч;

L – длина стока воды в поперечном направлении (обычно принимается равной ширине полосы движения), м;

S – результирующий уклон поверхности покрытия, %;

MTD – средняя глубина макротекстуры покрытия, мм.

$$S = \sqrt{i_{\text{пр}}^2 + i_{\text{поп}}^2}, \quad (2)$$

где $i_{\text{пр}}$ и $i_{\text{поп}}$ – продольный и поперечный уклоны, %.

При наличии колеи в ней аккумулируется вода, не имеющая возможности свободного стока в поперечном направлении. На участках значительной протяженности при малых продольных уклонах продольный сток из колеи также затруднен, и колея заполняется водой практически до уровня бортов. Это допущение, принятое в настоящей работе, дает оценку «в запас безопасности» и является обоснованным для инженерного анализа. Суммарная толщина водяной пленки в зоне колеи составляет:

$$h_w = h_0 + d_k, \quad (3)$$

где d_k – глубина колеи, мм. Поскольку h_0 при характерных условиях не превышает десятых долей миллиметра, а d_k измеряется десятками миллиметров, толщина водяной пленки в колее определяется практически полностью глубиной самой колеи.

Критическая скорость аквапланирования определяется по эмпирической модели [4], полученной на основе обширных экспериментальных данных и рекомендованной FHWA. Для случая $h_w \geq 2,413$ мм, что заведомо выполняется при наличии колеи:

$$V_{\text{кр}} = A \cdot \left(\frac{p_{\text{ш}}}{100}\right)^{0,3} \cdot TD^{0,04} \cdot h_w^{-0,06} - B,$$

$$\text{где } A = 46,59; \quad (5)$$

$$B = 5,64 \cdot (h_w - 2,413)^{0,5} \cdot h_w^{0,06}; \quad (6)$$

$V_{\text{кр}}$ – критическая скорость аквапланирования, км/ч;

$p_{\text{ш}}$ – давление воздуха в шинах, кПа;

TD – остаточная глубина рисунка протектора, мм;

h_w – толщина водяной пленки, мм.

Коэффициенты (5) и (6) приведены для получения результата непосредственно в км/ч.

Остаточный коэффициент сцепления при скорости движения V , не достигшей критической, оценивается по зависимости:

$$\varphi(V) = \varphi_0 \cdot \left(1 - \left(\frac{V}{V_{\text{кр}}}\right)^2\right), \quad (7)$$

где φ_0 – коэффициент сцепления на мокром покрытии при малой скорости.

При $V \geq V_{\text{кр}}$ наступает полное аквапланирование и $\varphi = 0$.

Расчет выполнен для условий, характерных для автомобильных дорог Республики Беларусь. Покрытие принято из плотного асфальтобетона с $MTD = 0,5$ мм как наиболее распространенный тип на дорожной сети республики. Ширина полосы движения 3,5 м соответствует наиболее распространенному случаю для республиканских дорог. Давление в шинах 220 кПа и остаточная глубина протектора 4,0 мм соответствуют типичному легковому автомобилю с шинами в удовлетворительном состоянии. Расчет выполнен для трех характерных интенсивностей дождя: умеренный дождь – 10 мм/ч, сильный дождь – 20 мм/ч и ливень – 40 мм/ч. Глубина колеи варьировалась от 0 (ровное покрытие) до 40 мм (предельно допустимое значение для уровней требований 3–4 по СТБ 1291). Продольный и поперечный уклон приняты равными 20 ‰.

Расчет выполнен в соответствии с методикой, изложенной выше. Результирующий уклон поверхности покрытия при принятых значениях продольного и поперечного уклонов составляет 28,3 ‰. Толщина водяной пленки на ровном покрытии (без колеи) при сильном дожде (20 мм/ч) составит 0,057 мм. Аналогичный расчет при умеренном дожде (10 мм/ч) дает $h_0 = 0,040$ мм, при ливне (40 мм/ч) – $h_0 = 0,081$ мм. Во всех случаях толщина пленки на ровном покрытии не превышает десятых долей мм, и сама по себе не представляет опасности с точки зрения аквапланирования.

При наличии колеи картина существенно меняется. Суммарная толщина водяной пленки определяется практически полностью глубиной колеи: при $d_k = 30$ мм $h_w \approx 30$ мм, при $d_k = 40$ мм $h_w \approx 40$ мм. Вклад базовой пленки h_0 составляет менее 0,3 % от суммарной толщины и в дальнейшем анализе может не учитываться.

Результаты расчета критической скорости аквапланирования при различных значениях глубины колеи показывают, что имеет место резкое снижение критической скорости аквапланирования с увеличением глубины колеи. Уже при более глубиной 5 мм критическая скорость падает до 46,6 км/ч. При нормативно допустимой глубине колеи 30 мм критическая скорость составляет лишь 18,7 км/ч, а при 40 мм – 15,1 км/ч.

Сопоставление критической скорости аквапланирования с разрешенными скоростями движения показывает, что разрешенная скорость движения превышает критическую скорость аквапланирования в 4–6,4 раза. Это означает, что при движении с разрешенной скоростью по покрытию с колеей допустимой глубины во время дождя любой интенсивности наступает полное аквапланирование: коэффициент сцепления равен нулю, торможение и управление автомобилем невозможны.

При разрешенных скоростях 60 км/ч и выше предельно допустимая глубина колеи из условия предотвращения аквапланирования составляет менее 1 мм, что практически нереализуемо. Это свидетельствует о том, что проблема безопасности на мокром покрытии не может быть решена исключительно нормированием

глубины колеи – необходим комплексный подход, включающий ограничение скорости, повышение макротекстуры покрытия и требования к состоянию шин.

Полученные результаты выявляют противоречие в действующей нормативной базе Республики Беларусь. Два нормативных документа – СТБ 1291 и ТКП 682 – устанавливают требования, которые при определенных условиях оказываются взаимно несовместимы.

Причина этого противоречия состоит в том, что нормативные требования к глубине колеи и к коэффициенту сцепления разрабатывались независимо друг от друга. В результате нормативы не учитывают тот факт, что колея является не только дефектом поперечной ровности, но и фактором, критически влияющим на безопасность движения на мокром покрытии.

Результаты расчета показывают, что проблема не может быть решена исключительно ужесточением требований к глубине колеи. При разрешенных скоростях 60 км/ч и выше даже незначительная колея в сочетании с характеристиками массовых легковых автомобилей (давление в шинах 220 кПа, средний износ протектора) создает условия для аквапланирования при интенсивном дожде.

Необходимо отметить ограничения настоящего исследования. Расчет выполнен на основе эмпирической модели [4], полученной в климатических условиях, отличающихся от белорусских. Тем не менее масштаб выявленного несоответствия (разрешенная скорость превышает критическую в 4–6 раз) настолько значителен, что даже существенная погрешность модели не меняет принципиального вывода о несоответствии действующих нормативов условиям безопасности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СТБ 1291-2016. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. – Минск : Госстандарт, 2016. – 28 с.
2. ГОСТ Р 50597-2017. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. – М. : Стандартиформ, 2017. – 28 с.
3. ТКП 682-2025. Автомобильные дороги общего пользования. Правила проектирования. – Минск : Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, 2025. – 96 с.
4. Gallaway, B. M. Pavement and Geometric Design Criteria for Minimizing Hydroplaning / B. M. Gallaway, D. L. Ivey, G. Hayes [et al.]. – Texas Transportation Institute, FHWA-RD-79-31, 1979.