

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОДОРОГ НА ОТРЕЗКАХ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВЛИЯНИЮ АКВАПЛАНИРОВАНИЯ

Александр Резник¹, Андрей Белятынский²

Национальный авиационный университет, Киев, Украина

Эл. почта: ¹resnik82@ukr.net; ²beljatynskij@mail.ru

Аннотация. Во время ливня, таяния снега, конденсации воды, при туманах и некоторых других погодных явлениях на покрытии автодороги собирается вода. Это приводит к уменьшению сцепления шины с покрытием дороги. При высокой скорости движения по мокрому покрытию вода не успевает вытесняться из-под управляемых колес легкового и легкого грузового автомобилей. Это приводит к поднятию передних колес над поверхностью автодороги под действием гидродинамической силы, и автомобиль становится неуправляемым. Следует обратить внимание на разработку методов по обеспечению безопасности движения на участках возможного аквапланирования автомобилей путём выявления и совершенствования этих участков на стадиях проектирования, реконструкции и эксплуатации автомобильных дорог, включая ограничения скоростей движения автомобилей.

Ключевые слова: автомобиль, дорога, вода, сцепление, аквапланирование, реконструкция, эксплуатация, безопасность движения.

Постановка проблемы

Во время ливня, таяния снега, конденсации воды, при туманах и некоторых других погодных явлениях на покрытии автодороги собирается вода. Это приводит к уменьшению сцепления шины с покрытием дороги и увеличению числа дорожно-транспортных происшествий. При высокой скорости движения по мокрому покрытию вода не успевает вытесняться из-под управляемых колес легкового и легкого грузового автомобилей. Это приводит к поднятию передних колес над поверхностью автодороги под действием гидродинамической силы, и автомобиль становится неуправляемым (Немчинов 1985; Бабков 1993; Васильев 2002; Шумейко 2007).

При проектировании и эксплуатации автомобильной дороги в районах с высокой интенсивностью ливней следует проверять участки дороги на возможность аквапланирования автомобилей, определять критическую скорость начала аквапланирования по расчетной формуле в зависимости от толщины пленки воды на покрытии, шероховатости участка и других факторов.

Существующие методы расчета критических скоростей аквапланирования строго детерминированы и не дают информацию о том, с какой вероятностью может начаться процесс аквапланирования автомобиля при той или иной скорости движения. Эта вероятность зависит от многих факторов, включающих в себя законы распределения скорости дви-

жения легкового и легкого грузового автомобилей, законы распределения глубины воды на этих участках. На основании этих законов распределения существует возможность разработать формулы теории риска, что позволяет установить вероятность процесса аквапланирования.

Разработка и воплощение перечисленных выше мероприятий направлены на повышение безопасности движения на мокрых покрытиях при проектировании и эксплуатации мокрой дороги.

Цели исследования

В связи с вышеизложенным целью настоящего исследования и была разработана методика по обеспечению безопасности движения автомобилей на участках возможного аквапланирования путем выявления и совершенствования таких участков на стадии проектирования, реконструкции и эксплуатации автомобильной дороги, включая обоснованное определение скорости движения автомобилей.

Изложение основного материала

По данным профессоров М. В. Немчинова (1985), В. Ф. Бабкова (1993), А. П. Васильева (2002) число дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на скользком покрытии в 2–2,5 раза больше числа ДТП на чистом сухом и шероховатом покрытии. В среднем около 47% ДТП, связанных с условиями дорог,

происходит по причине недостаточного сцепления шин с покрытием дороги. На автомагистралях этот показатель достигает 60–63%. Поэтому в процессе эксплуатации дорог предпринимаются попытки повысить сцепные качества скользких покрытий, что позволяет значительно снизить число и сложность ДТП.

Согласно данным профессора М. В. Немчинова удельная аварийность на мокрых покрытиях зависит от интенсивности движения и времени года эксплуатации покрытия.

Анализ влияния толщины пленки воды на коэффициент сцепления, показывает, что с уменьшением скорости движения автомобиля значительно увеличивается коэффициент сцепления для одного и того же протектора колеса транспортного средства. С увеличением износа протектора коэффициент сцепления при той же толщине пленки уменьшается.

По данным ряда зарубежных и отечественных исследователей проф. М. В. Немчинов приводит зависимость количества ДТП на мокрых покрытиях от величины коэффициента сцепления. Согласно результатам анализа этих данных установлено, что количество ДТП на мокрых покрытиях увеличивается в 2 раза при снижении коэффициента сцепления с 0,4 до 0,2. Коэффициент сцепления 0,2 на мокрых покрытиях представляется критическим для пленки жидкости, толщина которой больше 0,5 мм для движения автомобиля со скоростью 100 км/ч и больше.

Таким образом, при выявлении влияния пленки воды на покрытие на аварийность следует учитывать ряд показателей: шероховатость покрытия, толщину пленки, состояние протектора колес транспортного средства и скорость его движения. При толщине пленки больше 0,5 мм для шины с предельным износом протектора коэффициент сцепления при скорости движения 100 км/ч и больше приближается к нулю, что свидетельствует о начале явления аквапланирования.

Основные параметры, приводящие к явлению аквапланирования (глубина слоя жидкости, скорость движения автомобиля, состояние протектора и давление колеса на покрытие), не являются постоянными. Они меняются как в пространстве, так и во времени.

Слой жидкости на покрытии имеет разную толщину в пределах участка возможного аквапланирования, а изменение толщины пленки воды оказывает влияние на вероятность возникновения аквапланирования и поэтому должно учитываться в виде стати-

стических параметров (средней толщины (h_{cp}) и среднего квадратичного отклонения толщины (σ_k) слоя жидкости). Кроме того, важно знать основные законы распределения воды по глубине на покрытиях автомобильной дороги с целью применения их в теоретических исследованиях.

В наше время существует несколько методов оценки безопасности движения автомобиля на мокрых покрытиях, которые можно разделить на две группы: методы оценки безопасности движения при наличии сцепления колеса с покрытием и методы оценки скольжения колеса по слою жидкости. Наибольшее развитие получили методы оценки безопасности движения по мокрым покрытиям, когда величина коэффициента сцепления имеет решающее значение при движении автомобиля. В этом случае применяют следующие методы оценки движения:

- метод итогового коэффициента аварийности (с учетом сезонных коэффициентов);
- метод коэффициентов безопасности движения (с учетом скользкости покрытия);
- метод обеспечения расчетной скорости в неблагоприятные периоды года;
- метод оценки удельной аварийности (с учетом мокрого покрытия);
- метод оценки наезда на впереди едущий автомобиль при экстренном торможении.

Метод коэффициентов безопасности учитывает влияние коэффициентов сцепления на скорость движения автомобилей как на подходе к опасному участку, так и на нем.

Второй метод, предложенный профессором А. П. Васильевым, позволяет устанавливать коэффициент расчетной скорости (K_{pc}) по формуле, которая учитывает изменение коэффициентов сцепления и сопротивления качению при разных состояниях, в том числе и при мокром покрытии:

$$K_{pc} = \frac{V_{\phi \max}}{V_p}, \quad (1)$$

где K_{pc} – коэффициент расчетной скорости; $V_{\phi \max}$ – максимально допустимая или безопасная скорость движения; V_p – расчетная скорость движения.

По рекомендации профессора А. П. Васильева идеальным случаем представляется равенство максимальной и расчетной скоростей движения, так как в этом случае $K_{pc} = 1$.

Третий метод учитывает длину тормозного пути при разных коэффициентах по длине сцепления, то

есть позволяет учитывать и наличие скользкого покрытия. Данный метод будет рассматриваться при описании формул теории риска, например, при использовании формулы (2):

$$R = 0,5 - \Phi \left(\frac{l_i + S_1 - S_2}{\sqrt{\sigma_{S_1}^2 + \sigma_{S_2}^2}} \right), \quad (2)$$

где l_i – интервал между движущимися автомобилями, м; S_1 и S_2 – математическое ожидание тормозного пути соответственно первого и второго автомобилей; $\sigma_{S_1}, \sigma_{S_2}$ – средние квадратичные отклонения остановочного пути первого и второго автомобилей.

Формула (2) позволяет установить риск наезда на автомобиль, который едет впереди, с учетом состояния покрытия, но не может быть использован для оценки риска наезда на автомобиль-лидер в процессе аквапланирования.

Метод оценки удельной аварийности основан на учете числа дорожно-транспортных происшествий на мокрых покрытиях и определяется по формуле:

$$Y = \frac{Z_{\text{дтп}}^M \cdot 10^6}{365LN}, \quad (3)$$

где $Z_{\text{дтп}}^M$ – число ДТП на мокрых покрытиях; L – длина участка дороги, км; N – среднегодовая суточная интенсивность движения, авт./сутки.

Как видно из приведенной методики, оценка безопасности движения по тонкой пленке покрытия получила хорошее развитие. В случае, когда передние колеса автомобиля находятся в состоянии динамического глассирования (аквапланирования), применяется несколько методик по оценке скорости аквапланирования автомобиля, которые основаны на теоретических предположениях.

Анализ методов оценки безопасности движения по автомобильным дорогам показал, что большинство существующих методов не позволяют использовать оценку безопасности движения глассирующего автомобиля и не устанавливают вероятность возникновения режима аквапланирования в зависимости от скорости движения автомобиля и глубины воды на покрытии дороги.

В проектах автомобильных дорог не рассматриваются варианты проектных решений позиции предотвращения возможности аквапланирования автомобилей на неудачно запроектированных участ-

ках плана и продольного профиля дороги в связи с отсутствием методики по проведению такого анализа.

На существующих дорогах не проводятся плановые работы по выявлению участков возможного аквапланирования автомобилей. По карточкам ДТП установить причину заноса автомобиля с выделением режима аквапланирования из всех случаев скользкого покрытия не удастся, возможно, в связи с тем, что в карточке ДТП отсутствует подробное описание возникновения аварии, а методика по выявлению такой возможности до настоящего времени не разработана.

Не существует методики расчета допустимой скорости движения автомобиля на опасных из-за условий аквапланирования участках дороги. Наличие таких методик позволило бы устанавливать знаки ограничения скорости на участках возможного аквапланирования автомобилей.

Анализ существующих методов оценки скорости аквапланирования автомобилей и других систем показал, что теоретической модели аквапланирования автомобиля, которая позволяла бы решать указанные выше проблемы, пока не существует.

Выводы

С учетом вышесказанного следует обратить внимание на разработку методов по обеспечению безопасности движения на участках возможного аквапланирования автомобилей путём выявления и совершенствования этих участков на стадиях проектирования, реконструкции и эксплуатации автомобильных дорог, включая ограничения скоростей движения автомобилей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- создать математическую модель для оценки начальной скорости аквапланирования автомобилей, расчетные данные которой будут соответствовать экспериментальным данным;
- на основе экспериментальных данных установить законы распределения скорости движения автомобилей на участках с разной толщиной слоя воды на покрытиях дороги и законы распределения глубины воды на этих же участках;
- разработать вероятностную модель теории риска, которая описывала бы зависимость возникновения риска процесса аквапланирования;
- используя методы технико-экономического обоснования проектных решений и зависимость «скорость движения–достоверность аквапланирования», установить допустимое значение риска аква-

планирования автомобилей для заново проектируемой и существующей дороги;

– разработать методику по определению допустимой скорости движения на участках существующей дороги с возможным образованием пленки воды на покрытии и на участках дороги с застаиванием воды в местах локального понижения отметки проезжей части;

– разработать рекомендации по обеспечению стока воды с покрытия существующей дороги, включая исправление участков дороги с пониженной отметкой проезжей части.

Литература

- Бабков, В. Ф. 1993. *Дорожные условия и безопасность движения*. Москва: Транспорт. 270 с.
- Васильев, А. П. 2002. *Анализ и пути совершенствования методов строительства и эксплуатации автомобильных дорог: сб. науч. тр.* Москва: Московский автомобильно-дорожный институт (гос. технический ун-т). 189 с.
- Немчинов, М. В. 1985. *Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобиля*. Москва: Транспорт. 231 с.
- Шумейко, А. Н. 2007. *Автомобильные дороги России: состояние и перспективы*. Москва: Московский автомобильно-дорожный институт (гос. технический ун-т). 267 с.

AUTOMOBILIŲ KELIŲ RUOŽŲ PROJEKTAVIMAS, VERTINANT AKVAPLANAVIMĄ

A. Reznik, A. Beliatynskij

Santrauka

Lyjant lietui, tirpstant sniegui, esant stipriam rūkui ir pan., kelio dangos paviršiuje susikaupia vandens sluoksnis. Transporto priemonėi judant šlapia kelio danga dideliu greičiu minėtas vanduo ne visada išstumiamas iš po transporto priemonės ratų padangų ir kelio dangos paviršiaus sąveikos zonos.

Akvaplanavimas – tai reiškinys, kai transporto priemonės ratai praranda sukibimą su kelio danga ir skrieja vandens paviršiumi, transporto priemonė praktiškai lieka nevaldoma iki tol, kol nepravažiuos šlapio kelio ruožo.

Autoriai analizuoja transporto priemonių saugaus eismo keliais su šlapia danga metodus ir aptaria juos automobilių kelių projektavimo kontekste.

Reikšminiai žodžiai: transporto priemonė, automobilių kelias, kelio danga, vanduo, akvaplanavimas, sukibimas.

HIGHWAY DESIGN ON THE SECTIONS AFFECTED BY AQUAPLANING

A. Reznik, A. Beliatynskij

Abstract

Pouring rain, snow melting, water condensing, fog and other natural phenomena cause the collection of water on roadway pavement, leading to the decrease of road-holding capacity of a tyre.

When a car or a light truck is moving at a high speed on wet road pavement, the water under its wheels cannot be expelled in time.

It results in raising of the front wheels of the vehicle above the road surface under the action of a hydrodynamic force and loss of vehicle control.

The methods ensuring traffic safety on road sections, where vehicle's aquaplaning is possible, should be developed by identifying and improving these sections at the stages of highway design, reconstruction and maintenance and by limiting traffic speed of vehicles.

Keywords: vehicle, road, road-holding capacity, aquaplaning, reconstruction, maintenance, traffic safety.