

И. И. Леонович, д-р техн. наук, профессор, БНТУ

КОЛЕЙНОСТЬ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ: ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ, СПОСОБЫ ЛИКВИДАЦИИ

The reasons of rut origin on road asphalt concrete surfacing and the methods of struggle with this phenomenon are considered in this article.

Введение. На автомобильных дорогах под воздействием погодных-климатических факторов и транспортных нагрузок возникают различного рода деформации и разрушения. Среди них колеи на усовершенствованных покрытиях занимает одно из центральных мест. На данном этапе острота проблемы колеобразования связана со следующими особенностями дорожно-транспортного комплекса:

- изменением состава и интенсивности движения транспортных потоков появлением на главных транспортных магистралях значительного количества тяжеловесных, крупногабаритных автомобилей и автобусов;
- недостаточной для современного движения степенью сдвигустойчивости грунтов земляного полотна, конструктивных слоев дорожных одежд;
- повышенной суммарной толщиной асфальтобетонных слоев (покрытий и оснований) в современных конструкциях дорожных одежд;
- недостаточной сдвигустойчивостью асфальтобетона с точки зрения современных воздействий от транспортных нагрузок;
- иногда неправильным выбором типов асфальтобетонов для конкретных объектов дорожного строительства;
- допускаемыми ошибками при подборе составов асфальтобетонов для покрытия дорог различных технических категорий.

Дорожным организациям приходится принимать превентивные меры против колеобразования, а в процессе эксплуатации ограничивать интенсивность его развития или выполнять ремонтные работы по ликвидации колеи. Важным условием выполнения дорожно-эксплуатационных работ является учет причин возникновения колеи и выбор оптимальных способов по их ликвидации. В трудах профессоров А. П. Васильева [1] В. Д. Казарновского [2] механизм образования колеи на автомобильных дорогах проанализирован достаточно глубоко. Однако многофакторность процессов колеобразования не снижает актуальности исследований и требует развития теории обеспечения устойчивости дорожных покрытий под влиянием комплекса внешних факторов.

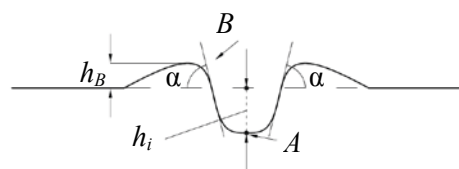
1. Причины возникновения колеи и оценка уровня колеи. На загородных дорогах и на улицах городов Беларуси определились тенденции повышения интенсивности движения и роста грузового транспорта со значительными

осевыми нагрузками. Транспортные потоки на проезжей части напоминают собой поток жидкости. Однако транспортный поток формируется не столько под влиянием законов механики, сколько под управлением человека. В этом его специфика и особенность. Массовые движения автомобилей по проезжей части регулируются установленными правилами, числом и шириной полос движения. В зависимости от количества рядов и направлений движения транспортные потоки обычно подразделяются на: однорядные – односторонние; двухрядные – одно- и двухсторонние; трехрядные – одно- и двухсторонние; четырехрядные – одно и двухсторонние; шестирядные – одно- и двухсторонние. Чем больше число рядов движения, при соответствующей ширине проезжей части, тем большая вероятность маневра, возможность распределения транспортных средств по полосам движения, а следовательно, и по всей проезжей части.

Колейность [3] – дефект дорожного покрытия, обусловленный наличием на проезжей части колеи – продольных углублений правильной формы в местах наката, образовавшегося в результате систематического приложения нагрузок от колес подвижного состава. Существующая глубина колеи (h_i) в соответствии с рисунком определяется по формуле

$$h_i = h_a + h_b, \quad (1)$$

где h_a – величина просвета под измерительной рейкой в точке А, мм; h_b – величина выпора в точке В, мм.



Рисунок

Колейность образуется при значительных (предельных) осевых нагрузках вследствие реологических свойств материалов и недостаточной прочности конструкций дорожной одежды и земляного полотна. Под влиянием тяжелых автомобилей, при интенсивном движении колеиность может прогрессировать и привести к образованию трещин, проломов. Механизм образования колеи на дорогах с асфальтобетонным покрытием может быть различным [2]:

1. Образование колеи из-за износа самого покрытия (например, при воздействии шиповых шин).

2. Образование колеи в результате вязко-пластических деформаций слоя покрытия и нижележащих асфальтобетонных слоев основания.

3. Образование колеи в результате возникновения пластических сдвиговых деформаций в дополнительных слоях основания и верхней части рабочего слоя земляного полотна.

4. Образование колеи в результате доуплотнения конструктивных слоев дорожной одежды и рабочего слоя земляного полотна.

При рассмотрении вопроса о механизме процесса колеобразования можно исходить из того, что доуплотнение конструктивных слоев и грунта рабочего слоя земляного полотна не должно иметь места, если, во-первых, соблюдаются требования норм уплотнения и, во-вторых, движение соответствует уровню, предусмотренному в действующих нормах на уплотнение, а также прочность конструкций дорожной одежды, которая имеется в данном случае. Конечно, это предположение также следует проверять, особенно в части уплотнения конструктивных слоев из крупнообломочных дискретных материалов, в отношении которых, по существу, нет норм. Однако на первых порах можно исходить из того, что доуплотнение мало, а существенного накопления пластических деформаций формоизменения не должно быть, если конструкция дорожной одежды отвечает критерию сдвигоустойчивости при данном реальном уровне движения.

Наличие колеи затрудняет выполнение маневров автомобилей, ухудшает водоотвод с покрытия и повышает опасность дорожного движения.

При диагностике автомобильных дорог колеи оцениваются по глубине колеи: 1-й уровень – глубина колеи до 15 мм; 2-й уровень – от 15 до 30 мм и 3-й уровень – глубина колеи больше 30 мм. Протяженность колеи измеряют в погонных метрах. При двух и более рядах движения образование колеи существенно замедляется, т. к. транспортные средства более полно используют всю ширину проезжей части. Вместе с тем, при наличии в транспортном потоке значительного количества грузовых автомобилей, а в городе тяжеловесных автобусов и троллейбусов, образованию колеи подвергаются в первую очередь правые крайние полосы движения на проезжей части.

Вероятная величина на асфальтобетонном покрытии (h_k) может быть определена по формуле [4]

$$h_k = h_o + h_p, \quad (2)$$

где h_o – имеющаяся на покрытии колея, мм; h_p – расчетная глубина колеи, мм.

Значение расчетной глубины зависит от интенсивности движения и свойств дорожного покрытия:

$$h_p = K_a \cdot K_n [N_k]^B, \quad (3)$$

где K_a – коэффициент, который означает остаточную деформацию, образующуюся после приложения 1000 циклов нагрузки на испытываемый образец; K_n – переходный коэффициент:

$$K_n = h_\phi / 100; \quad (4)$$

h_ϕ – фактическая толщина покрытия, мм; N_k – расчетная суточная интенсивность движения, авт./сут; B – коэффициент, характеризующий интенсивность образования колеи в покрытии.

Суммарная интенсивность движения определяется по следующей формуле:

$$N_k = K_d \cdot K_l \cdot N_a \cdot K_{дн}, \quad (5)$$

где K_d – количество расчетных дней в летний период года; K_l – расчетный срок службы дороги (до капитального ремонта или реконструкций), лет; N_a – расчетная интенсивность нормативных транспортных средств, авт./сут; $K_{дн}$ – процент транспортных средств, проезжающих по дороге в дневное время суток.

Но не только интенсивное движение транспортных средств является причиной возникновения колеи на дорогах. Колея образуется в упруго-, вязко-пластических дорожных покрытиях при высоких температурах воздуха летом, при повышенной влажности грунтов земляного полотна весной, недостаточной сдвигоустойчивости асфальтобетонного покрытия и основания, а также грунтов активной зоны земляного полотна. Температура дорожного покрытия зависит от температуры атмосферного воздуха. Если температура воздуха в тени (t_b) градусов, то температура покрытия ($T_{покp}$) характеризуется формулой профессора Б. И. Ладыгина:

$$T_{покp} = 1,3t_b + 7. \quad (6)$$

Если же температура воздуха измерена в зоне действия прямой солнечной радиации (t_b^c), то температура покрытия определяется зависимостью

$$T_{покp} = 1,2t_b^c + 3,2. \quad (7)$$

Профессором Я. Н. Ковалевым для температуры покрытия предложена следующая формула:

$$T_{покp} = t_{впс} + J_c(1-A)K_n / \alpha_c, \quad (8)$$

где $t_{впс}$ – температура воздуха над поверхностью покрытия, °C; J_c – расчетный поток суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность, ккал/м²·ч; A – коэффициент отражения солнечных лучей поверхностью покрытия; α_c – суммарный коэффициент теплоотдачи на границе покрытия и воздуха,

ккал/м²ч °С; $K_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий потери тепла, термического нагрева, потери за счет конвекции и излучения, $K_{\text{п}} = 0,16$.

Температура покрытия учитывается при определении сдвигоустойчивости асфальтобетона. Сдвигоопасной считается температура, при которой асфальтобетонное покрытие переходит из упруговязкого состояния в вязкопластическое.

Процессу колеобразования способствует истирание поверхности покрытия по полосам наката, доуплотнение или переуплотнение конструктивных слоев дорожной одежды, другие факторы.

Колейность на автомобильных дорогах является существенным дефектом, снижающим безопасность дорожного движения. Она на автомобильных дорогах оказывает существенное влияние на их эксплуатационное состояние и значение итогового коэффициента обеспеченности расчетной скорости. При технических осмотрах и инструментальной диагностике на наличие колеи обращается особое внимание. Частный коэффициент обеспеченности расчетной скорости в зависимости от глубины колеи под уложенной на выпоры рейкой приведен в табл. 1.

Таблица 1

Значение коэффициента обеспеченности расчетной скорости в зависимости от глубины колеи

Параметры колеи, мм		Коэффициент обеспеченности расчетной скорости
Глубина под рейкой, уложенной на выпоры	Общая глубина относительно правого выпора	
≤ 4	0	1,25
7	3	1,00
9	4	0,90
12	6	0,83
17	9	0,75
27	15	0,67
45	28	0,58
≥ 83	≥ 56	0,50

В период выпадения дождей, мокрого снега или при его таянии в колеях, имеющих на поверхности покрытия, формируется слой воды, основными параметрами которого являются ширина и глубина. Исследования профессора А. М. Васильева [5] показывают, что вода на поверхности дороги оказывает существенное влияние на режим движения транспортных средств. При наличии колеи влияние поверхностной воды еще более значительно: снижаются сцепные качества покрытия, коэффициент сцепления становится минимальным, а при высокой скорости наступает процесс аквапланирования; наличие водяных полос изменяет вос-

приятие водителем реальной ширины полосы движения и создает трудности в выборе траектории и скорости движения; повышается степень опасности для движения из-за возможной потери устойчивости и управляемости автомобилем при совершении маневров. Влияние указанных выше факторов на скорость и безопасность дорожного движения подтверждается также и в исследованиях, проведенных в Германии, Польше, Швейцарии и других странах.

Конкретные данные о параметрах слоя воды в колеях необходимы для решения многих вопросов обеспечения высокой скорости и безопасности на дорогах, таких, как аквапланирование, устойчивость автомобилей при маневрах, сцепные качества и др.

Колейность определяется с помощью 2-метровой рейки и измерительного щупа. Измерения проводят по правой внешней полосе потока в прямом и обратном направлениях на участках, где при визуальном осмотре установлено наличие колеи. Количество створов измерений и расстояние между створами принимают в зависимости от состояния покрытия, установленного при визуальном обследовании. На каждом измерительном участке длиной 100 м выделяются 5 створов (через 20 м). Рейку укладывают на выпоры внешней колеи и берут один отсчет в точке, соответствующей наибольшей глубине колеи в каждом створе, при помощи щупа. При отсутствии выпоров рейку укладывают на проезжую часть таким образом, чтобы перекрыть измеряемую колею. Если в створе измерения имеются дефекты покрытия (выбоины, трещины и т.п.), то измерения производятся в створе со сдвигом ±0,5 м.

По каждому измерительному участку определяют расчетную глубину по формуле

$$h_{\text{кр}} = \frac{\sum h_i}{n}, \quad (9)$$

где h_i – глубина колеи в i -м створе, мм; n – количество створов на измерительном участке.

Для измерения поперечной ровности дорожного покрытия, а в том числе наличия колеи и численных ее характеристик, существует ряд ручных [5] и автоматических [6] методов.

Оценка эксплуатационного состояния дорог по глубине колеи по каждому исследуемому участку путем сравнения средней расчетной глубины $h_{\text{кр}}$ (ср) с допустимым и предельно допустимым значением (табл. 2).

Участки дорог с глубиной колеи больше предельно допустимых значений относятся к опасным для движения автомобилей и требуют немедленного проведения работ по устранению колеи, а на участках, где колея не достигла предельных значений, требуется выполнить работы по снижению темпов колеобразования.

Таблица 2

**Шкала оценки состояния дорог
по параметрам колеи**

Расчетная скорость движения, км/ч	Глубина колеи, мм	
	допустимая	предельно допустимая
>120	4	20
120	7	20
100	12	20
80	25	30
60 и менее	30	35

2. Минимизация колеобразования. Проблема минимизации колеобразования должна рассматриваться в двух аспектах:

– необходимые действия, если колея уже образовалась;

– необходимые меры, чтобы заметная колея на вновь построенной конструкции не образовывалась как можно дольше.

В рамках первого аспекта нужно решать вопросы о допустимой величине колеи и конструктивно-технологических методах устранения колеи с обеспечением необходимой длительности сохранения ровности покрытия.

В рамках второго аспекта должны решаться такие вопросы, как раскрытие механизма образования колеи и применение конструктивно-технологических мер по обеспечению остаточной сопротивляемости конструкции процессу колеобразования с учетом параметров движения.

Успешные практические решения задач как первого, так и второго аспекта должны, прежде всего, основываться на четких представлениях о механизме колеобразования, т. е. на определении теоретических положений, дающих возможность делать количественные оценки развития процесса колеобразования.

Методы борьбы с колеобразованием можно разделить на четыре группы: организационно-технологические; по устранению колеи; по устранению причин образования колеи; по предупреждению образования колеи [7].

К организационно-технологическим мерам снижения темпов колеобразования относятся:

– ограничение движения тяжелого грузового автотранспорта в дневное время суток при высоких положительных температурах с переводом движения в ночное время;

– ограничение движения тяжелого грузового автотранспорта в период весеннего оттаивания грунта земляного полотна;

– строгий весовой контроль за соблюдением требований по фактической величине нагрузки на ось автомобиля;

– организация равномерного распределения движения по всей ширине проезжей части;

– ликвидация узких мест, мест необходимого снижения скорости движения грузовых автомобилей, заторов и остановок с целью сокращения продолжительности приложения транспортных нагрузок на покрытие.

Устранение колеи на существующем покрытии можно осуществлять путем укладки выравнивающего слоя по полосам движения транспортного потока или по всей ширине проезжей части, а также путем срезания гребней выпора по обеим сторонам колеи с заполнением оставшейся части колеи ремонтным материалом [8, 9].

Методы ликвидации колеи с устранением причин их образования включают:

– стабилизацию или удаление и замену нестабильного слоя без усиления или с усилением дорожной одежды;

– повышение жесткости нижележащих слоев покрытия;

– стабилизацию или замену грунтов активной зоны земляного полотна;

– осушение или обеспечение отвода поверхностных и грунтовых вод с полосы отвода.

Методы предупреждения образования колеи включают:

– расчет и конструирование дорожной одежды и земляного полотна с учетом предельно допустимых остаточных деформаций;

– устройство верхних слоев покрытия из материалов с высокой сдвигоустойчивостью и сопротивляемостью износа, а слоев основания из материалов с высоким сопротивлением структурным разрушениям и образованием остаточных деформаций;

– устройство земляного полотна из дренарующих материалов;

– устройство дренажей и систем отвода воды.

Для научного обоснования требований к материалам и конструкций дорожных одежд, обладающих повышенными свойствами сдвигоустойчивости, целесообразно проводить исследования.

Способ и технология укладки выравнивающего слоя выбираются на основании технико-экономических расчетов. В качестве сравниваемых вариантов могут быть:

а) полная замена существующих конструктивных слоев дорожной одежды на слои из более сдвигоустойчивых материалов;

б) укладка дополнительного верхнего выравнивающего слоя дорожного покрытия с предварительной ликвидацией дефектов на существующем покрытии;

в) сохранение конструкции дорожной одежды с проведением комплексной регенерацией дорожного покрытия.

Регенерация дорожного покрытия в зависимости от его состояния и условий эксплуатации может быть выполнена различными методами. Среди них:

– метод горячей регенерации на месте (на дороге) с использованием различных способов разогрева покрытия, разрыхления и улучшения свойств старого асфальтобетона с последующим реформированием покрытия;

– метод холодной регенерации на месте (на дороге), когда материал старого покрытия снимается холодным фрезерованием, обрабатывается битумной эмульсией и укладывается в нижний слой покрытия. Верхний слой в этом случае обеспечивает усиление дорожной одежды;

– метод холодно-горячей регенерации, при котором материал старого асфальтобетона снимают холодной фрезой, а затем перерабатывают его с подогревом, добавлением недостающих минеральных компонентов и битума в создаваемую обновленную органоминеральную смесь. При этом переработка может осуществляться на месте (на дороге) в передвижных смесительных установках или в установках на асфальтобетонных заводах.

Выводы.

1. Проблема борьбы с колеобразованием является одной из важнейших при эксплуатации автомобильных дорог с асфальтобетонными покрытиями. Ее решение охватывает весь жизненный цикл дорожной конструкции – от проектирования и строительства до организации движения транспортных средств и проведения реабилитационных ремонтных работ.

2. По мере роста интенсивности движения и увеличения осевых транспортных нагрузок острота этой проблемы будет нарастать непрерывно. В этих условиях должны быть значительно повышены требования к прочности дорожной конструкции и качеству материалов, которые используются в дорожном строительстве.

3. Для ликвидации колеобразования на автомобильных дорогах Беларуси необходим комплекс мер материаловедческого, проектного, технологического и организационного характера, реализуемых на основании научно обоснованных рекомендаций.

4. На эксплуатируемых автомобильных дорогах должен быть установлен систематический контроль за процессами колеобразования с таким расчетом, чтобы установить функциональные зависимости в системе: конструкция

дорожной одежды, температурный режим проезжей части, величина транспортных нагрузок и остаточные деформации покрытия.

5. Колеобразование на автомобильных дорогах может не происходить, если в процессе строительства строго соблюдаются нормативные требования по уплотнению грунтов земляного полотна, а дорожные одежды из органоминеральных смесей будут обладать сдвигоустойчивостью, отвечающей расчетным температурам покрытия и реально запроектированным уровнем дорожного движения.

Литература

1. Васильев, А. П. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения / А. В. Васильев. – М.: Транспорт, 1990. – 304 с.

2. Казарновский, В. Д. Проблемы колеобразования на дорогах с асфальтобетонными покрытиями / В. Д. Казарновский // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2000. – № 2. – С. 3–4

3. Автомобильные дороги Беларуси / А. В. Минин [и др.] // Энциклопедия / под ред. А. В. Минина. – Минск: БелЭн, 2002. – 672 с.

4. Методика випробування покриттів на стійкість проти колієутворення / Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна. – Київ, 2004. – 20 с.

5. Соловчук, А. Методы ручного измерения параметров колеи / А. Соловчук, А. П. Васильев // Наука и техника в дорожной отрасли. – № 2. – С. 57.

6. Установка для автоматизированного измерения поперечной ровности дорожного покрытия / М. А. Славцкий [и др.] // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2000. – № 2. – С. 7–8.

7. Леонович, И. И. Содержание и ремонт автомобильных дорог. В 2 ч. Ч. 2: Технология и организация дорожных работ / И. И. Леонович. – Минск: БНТУ, 2003. – 470 с.

8. Строительство и реконструкция автомобильных дорог: справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т. 1 / А. П. Васильев [и др.]; под ред. А. П. Васильева. – М.: Информавтор, 2005. – 646 с.

9. Комплексная механизация в дорожном строительстве / А. М. Щемелев [и др.]; под ред. А. М. Щемелева. – Могилев: Белорусско-Российский ун-т, 2006. – 540 с.