Причины образования колеи на пунктах автоматического весового и габаритного контроля

Пекин Никита Александрович
аспирант, кафедра Транспортных систем и дорожно-мостового строительства, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университета, ni.pek@mail.ru,

Клековкина Мария Петровна
канд. техн. наук, доцент кафедры Транспортных систем и дорожно-мостового строительства, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университета, mklekovkina@lan.spbgasu.ru,

Евтюков Станислав Сергеевич
д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой Транспортных систем и дорожно-мостового строительства, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университета, sevtyukov@lan.spbgasu.ru

В статье рассмотрены основные факторы, влияющие на образование колеи на автомобильных дорогах. Проведён анализ отечественных и зарубежных научных исследований. На основе анализа можно систематизировать причины образования колеи: абразивный износ покрытия, доуплотнение конструктивных слоев дорожной одежды после ввода дороги в эксплуатацию, пластические деформации асфальтобетонных слоёв, разрушения в слоях основания и земляном полотне вследствие накопления остаточных деформаций, условия движения автомобильного транспорта (перестроение, разгон, торможение и т.д.) и погодно-климатические условия, определяющие сезонную специфику колееобразования. На основе натурных измерений глубины колеи на дорогах I, II и III технических категорий установлено, что наличие автоматического пункта весового и габаритного контроля является самостоятельным фактором, влияющим на интенсивность образования колеи. Выявлено, что существенное изменение глубины колеи происходит на расстоянии 50 м до и 30 м после силового модуля, установленного в покрытии автомобильной дороги. Также в ходе натурных наблюдений зафиксировано снижение скорости грузовых транспортных средств до 15 км/ч в зоне расположения автоматического пункта весового и габаритного контроля, что характерно преимущественно для перегруженных транспортных средств и создаёт условия для ускоренного накопления пластических деформаций. Сделан вывод о необходимости учета выявленных закономерностей при проектировании конструкции дорожной одежды в зоне расположения автоматического пункта весового и габаритного контроля.
Ключевые слова: колея, факторы колееобразования, автоматический пункт весогабаритного контроля, глубина колеи, дорожная одежда, пластические деформации.

Введение

Колея на автомобильных дорогах является самой распространенной деформацией дорожных покрытий. Наличие колеи приводит к снижению безопасности движения и увеличению затрат на содержание автомобильных дорог. Практическое применение автоматических пунктов весового и габаритного контроля показывает ускоренное колееобразование в зоне размещения пункта, что снижает точность взвешивания и требует преждевременного ремонта. Анализ литературы показывает, что факторы влияющие на образование колеи в целом изучены, однако влияние специфических условий зоны расположения пункта контроля остаётся недостаточно исследованным. Цель работы – выявление факторов, определяющих интенсивность колееобразования на участках размещения пунктов автоматического весового и габаритного контроля, на основе обобщения литературных данных и натурных исследований.

Литературный обзор

Автор [1] выделяет следующие причины образования колеи на автомобильных дорогах:

Из-за истирания покрытия. Колея образуется в результате истирания верхнего слоя покрытия. Это может быть связано с применением шипованных шин в зимний период времени, а также с применением абразивных материалов, таких как песок, щебеночно-песчаная смесь мелкой фракции, которые применяются для посыпки участков автомобильных дорог, подверженных обледенению.

В результате доуплотнения конструктивных слоев дорожной одежды. При недостаточном уплотнении слоев конструкций дорожной одежды, после ввода в эксплуатацию автомобильной дороги из-за нагрузки от транспортных средств, слои конструкции дорожной одежды доуплотняются. В результате чего по полосам наката образуются углубления.

Исследователи из Тюменского индустриального университета [2] разделяют факторы, определяющие интенсивность образования колеи, на механические, погодно-климатические и грунтово-геологические. К механическим факторам авторы относят влияния грузонапряженности потока, состояние шин транспортных средств и режим движения транспортных средств по автомобильной дороге.

Авторы считают, что ускоренный износ покрытия автомобильной дороги происходит из-за дополнительной нагрузки на покрытие, которую создают перегруженные сверх нормы или неучтенные при проектировании грузовые транспортные средства.

Также влияние оказывает состояние шин транспортных средств. Шипованные шины, врезаясь в дорожное покрытие, создают небольшие углубления, вызывающие локальный износ дорожного покрытия. Из-за шин, не накачанных до необходимого уровня давления или с разным давлением на многоосных грузовых транспортных средствах, нагрузка на покрытие автомобильной дороги распределяется неравномерно, что увеличивает сопротивление качению в следствие чего повышается износ дорожного покрытия.

Влияние на покрытие также оказывают режимы движения транспортных средств. При резком торможении или ускорении автомобильная шина агрессивнее сцепляется с дорожным покрытием. Повышенное сцепление провоцирует большее истирание поверхности. Также авторы отмечают, что влияние перестроения транспортных средств на глубину колеи составляет 15-33%.

Группа ученых из скандинавских стран [3] смогли сгруппировать факторы, влияющие на скорость и глубину образования колеи. К этим факторам они относят: интенсивность и состав потока движения транспортных средств, качество материалов, применяемых при строительстве автомобильной дороги и качество материалов, применяемых в асфальтобетонной смеси.

Большой вклад в изучение факторов, влияющих на образование колеи, внес Васильев А.П. [4]. В своей работе автор определяет следующие факторы, а также степень их влияния:

Доуплотнение слоев дорожной одежды. Колея по этой причине образуется в первый год эксплуатации автомобильной дороги. Доуплотнение дорожной одежды завершается после прохода 300 тысяч стандартных осей грузового автомобиля. Доля этого фактора составляет 5-10% от общего числа причин образования колеи.

Истирание покрытия. При торможении и ускорении транспортного средства неизбежно проскальзывание шины в зоне контакта колеса с покрытием. Износ покрытия происходит равномерно в течение года, однако при применении шипованных покрышек скорость увеличения износа возрастает. Доля этого фактора составляет 5% от общего числа причин, однако при определённых условиях (высокая интенсивность, участок дороги, подверженный образованию гололедицы и т.д.) эта причина может стать основной.

Пластические деформации покрытия. Накопление пластических деформаций в асфальтобетонном покрытии происходит летом, когда температура покрытия возрастает. Из-за снижения вязкости битума повышается пластичность асфальтобетона, что приводит к накоплению вертикальных остаточных деформаций. Одновременно с вертикальными накапливаются и

горизонтальные остаточные деформации, в результате чего по бокам колеи появляются гребни и валы. Глубина пластической колеи зависит от состава асфальтобетонной смеси, числа приложенных нагрузок, исходной вязкости битума. Доля этого фактора составляет 15-20 % от общего числа причин образования колеи.

Структурное разрушение и остаточные деформации покрытия в слое основания. Колея формируется в следствие разрушения сплошности или структуры материала слоя из-за накопления вертикальных или горизонтальных напряжений, превышающих местные предельно допустимые значения. В слоях основания структурные разрушения накапливаются больше всего весной. Когда материал какого-то слоя плохо уплотнен или имеет низкую прочность, остаточные деформации в этом слое накапливаются и проявляются на поверхности в виде колеи. Доля этого фактора составляет 25-35 % от общего числа причин образования колеи.

Неравномерные остаточные деформации грунтах земляного полотна. В следствие выдавливания и выпучивания грунта в стороны образуется колея. Наиболее активно влияние этого фактора заметно в весенний период. Доля этого фактора составляет 20-30 % от общего числа причин образования колеи.

Использование шин с шипами. Каждый шип шины наносит покрытию удар с большой скоростью. Несмотря на очень маленькую массу шипа, многократное повторение ударов ослабляет верхний слой покрытия.

Исследователи из Тихоокеанского государственного университета [5] считают, что чем больше вес транспортного средства с грузом, тем больше величина износа покрытия. То есть величина износа линейно зависит от грузонапряженности автомобильной дороги. При равной годовой интенсивности движения транспортных средств их различная осевая нагрузка обусловливает неодинаковую степень разрушения дорожного покрытия.

Автор данной работы [6] разделил процесс образования колеи на два периода. Первый период характеризуется интенсивным доуплотнением конструкции дорожной одежды по полосам наката под действием прилагаемой нагрузки. На величину колеи на данном этапе влияют степень уплотнения и величина остаточной пористости материала. Второй период характеризуется сопротивляемостью асфальтобетона. На данном этапе происходит рост глубины колеи за счет накопления необратимых деформаций материалов. Интенсивность увеличения глубины колеи определяется свойствами материалов, применяемых при строительстве.

Исследователи из ФАУ «РОСДОРНИИ» и АО «Государственная транспортная лизинговая компания» в своей работе [7] описали, что значительное влияние на образование колеи оказывают местонахождение и климат регионов, в которых располагается автомобильная дорога. В северных регионах одной из основных причин образования колеи является износ покрытия из-за применений шипованных шин транспортных средств. В южных регионах основной причиной являются пластические деформации, происходящие из-за высокой температуры окружающей среды и покрытия автомобильной дороги. В зонах с нормальным континентальным климатов основными причинами являются летние и зимние факторы, обостряющиеся более высокой интенсивностью движения транспортных средств в городах.

Авторы выделяют 3 разновидности колеи: колея износа, колея с пластическими деформациями в верхних слоях покрытий и колея, образованная деформациями всех слоев конструкции дорожной одежды. Основной причиной образования колеи износа являются автомобили с шипованной резиной. Особенно сильно на образование данного вида колеи влияют скорости движения транспортных средств. Колея, образованная деформациями в верхних слоях покрытия – дефект преимущественного летнего периода года. Особенно подвержены данному типу колеи дороги южных регионов. Колея, образованная деформациями всех слоев конструкции дорожной одежды, появляется на автомобильных дорогах, где прочность дорожной конструкции не соответствует уровню реальной нагруженности автомобильного потока.

Автор работы [8] считает, что одной из наиболее частых причин возникновения колеи является превышение содержания битумного вяжущего в составе применяемой асфальтобетонной смеси.

Авторы провели исследование [9], в котором рассматривали два участка автомобильной дороги в зоне регулируемого перекрестка: участок разгона и участок торможения. В ходе исследования выяснилось, что в зоне разгона колея носит глубинный характер. Остаточные деформации были отмечены во всех слоях конструкции дорожной одежды, кроме слоев содержащих органическое вяжущее. Вклад деформации грунтов в глубину колеи составляет 80% глубины колеи, деформации песчаного подстилающего слоя – 11%, щебеночного основания – 8,5%. В зоне разгона отсутствовал износ поверхности покрытия. В зоне торможения вклад износа покрытия составляет 9,5%, деформация щебеночного основания – 11%, деформация земляного полотна – 72,5%. Таким образом можно сделать вывод, что основным фактором, влияющим на образование колеи на участках разгона и торможения в данном случае, является накопление остаточных деформаций в слоях конструкций дорожной одежды.

Авторы работ [10, 11] разделяют колею на три типа по способу образования. Два типа относятся к поверхностной колее, а один тип к глубинной. Образование поверхностной колеи обусловлено либо абразивным износом дорожного покрытия, либо пластическими деформациями верхнего слоя, вызванными недостаточной стабильностью асфальтобетонной смеси. Как отмечает автор в своей работе [11] местами с наиболее часто встречающейся колеёй износа являются участки торможения. Интенсивность развития этой колеи возрастает в зимний период, когда для борьбы с зимней скользкостью автомобильные дороги обрабатывают абразивными материалами. Глубинная колея образуется за счет деформации грунтов земляного полотна и песчаного подстилающего слоя дорожной одежды.

Автор работы [12] провел исследование, в котором отметил, что главными причинами для образования колеи износа являются участки торможение и зимний период года, когда автомобили используют шипованные шины.

Причины образования колеи на пунктах автоматического весового и габаритного контроля

В ходе исследования были проведены замеры глубины колей на автоматических пунктах весового и габаритного контроля. Измерения проводились на автомобильных дорогах I, II и III технических категорий [13]. На каждой категории было отобрано по 3 пункта контроля. Измерения проводились на расстоянии 100, 50, 40, 30, 20, 10, 0,2 м до и после силового модуля, расположенного в покрытии автомобильной дороги. На момент проводящихся измерений автоматические пункты весового и габаритного контроля находятся в эксплуатации 2 года. На основе полученных данных были построены усредненные графики зависимости глубины колеи от расстояния до силового модуля. Графики представлены на рисунке 1.

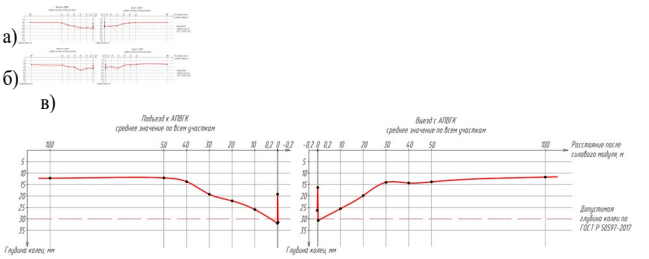


Рисунок 1. Графики зависимости глубины колеи от расстояний до силового модуля:

а) I техническая категория; б) II техническая категория; в) I техническая категория

Анализ усредненных графиков распределения глубины колеи относительно силового модуля автоматического пункта весового и габаритного контроля позволил сделать вывод, что на удалении 100 – 50 метров до и после силового модуля глубина колеи стабилизируется и не имеет статистически значимых отличий от фоновых значений характерных для участков рассматриваемых автомобильных дорог вне зоны расположения автоматического пункта весового и габаритного контроля. Существенное изменение глубины колеи зафиксировано на расстоянии 50 метров до силового модуля и 30 метров после силового модуля. Это позволяет сделать вывод, что наличие самого пункта автоматического весового и габаритного контроля является самостоятельным фактором, влияющим на интенсивность образования колеи на автомобильных дорогах.

В ходе натурного наблюдения было установлено, что значительная часть грузовых транспортных средств на расстоянии 50 метров до силового модуля начинает снижение скорости движения до порядка 15 км/ч, что существенно ниже разрешённой для данных категорий автомобильных дорог. Указанное снижение скорости характерно преимущественно для транспортных средств с превышением допустимых весовых параметров, что делает это снижение скорости косвенным индикатором перегруза. Снижение скорости движения создаёт условия для ускоренного накопления пластических деформаций в конструкции дорожной одежды, а также приводит к более интенсивному износу дорожного покрытия из-за усиления касательных напряжений в плоскости следа колеса.

Таким образом, именно локальное изменение скорости движения транспортных средств в зоне расположения автоматического пункта весового и габаритного контроля, обусловленное прохождением пункта перегруженными транспортными средствами, является основным фактором, влияющим на увеличение глубины колеи по сравнению с участками вне зоны контроля.

Вывод

На основе анализа отечественных и зарубежных источников установлено, что основные причины образования колеи могут быть разделены на несколько групп: абразивный износ покрытия, доуплотнение конструктивных слоев дорожной одежды после ввода дороги в эксплуатацию, пластические деформации асфальтобетонных слоёв, разрушения в слоях основания и земляном полотне вследствие накопления остаточных деформаций, условия движения автомобильного транспорта (перестроение, разгон, торможение и т.д.) и погодно-климатические условия, определяющие сезонную специфику колееобразования.

На основе проведенных натурных измерений и наблюдений установлено, что основным фактором, влияющим на образование колеи в зоне расположения автоматического пункта весового и габаритного контроля,

является локальное изменение скорости движения, обусловленное прохождением пункта перегруженными транспортными средствами. Рекомендуется при проектировании конструкции дорожной одежды предусматривать усиление конструкции, применение асфальтобетонных смесей с повышенной устойчивостью к сдвиговым деформациям, а также учитывать дополнительное динамическое воздействие, обусловленное снижением скорости движения перегруженных транспортных средств.

Литература

1. Леонович, И. И. Колейность автомобильных дорог: причины возникновения, способы ликвидации // Труды БГТУ. — 2008. — № 2. — С. 38–42
2. Тимоховец, В. Д., Чепчугова, А. А., Бабич, Т. Г. Изучение влияния перестроений транспортных средств на износ верхних слоёв дорожного покрытия // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета – 2025. – №1.
3. Износ асфальтобетонных покрытий шипованной резиной [Электронный ресурс]. URL: http://www.dor.spb.ru/index/technology/iznospokrytiy/ (дата обращения: 20.08.2026).
4. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения / А.П. Васильев. – М.: Транспорт, 1990. – 304 с.
5. Каменчуков А.В., Кормилицына Л.В., Лопашук В.В., Цупикова Л.С. Влияние сверхнормативной нагрузки на износ и разрушение дорожной одежды // Международный научноисследовательский журнал. 2021. № 4-1(106). С. 57–63.
6. Угланов Ю.А. Исследование колейности и определение риска возникновения ДТП на дорогах, подверженных образованию колеи // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2022.
7. Ковалев Д.И., Шайхутдинова Р.А. Проблемы колееобразования на автомобильных дорогах // Транспортные сооружения. 2022. № 1. Ст. 7. EDN: IJBZOE. DOI: 10.15862/ 10SATS122. URL: https://t-s.today/PDF/10SATS122.pdf
8. Серова, О.В. Анализ применимости современных технологий ремонта и борьбы с колееобразованием на дорогах / О.В. Серова, В.С. Герасимов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. — 2016. — № 10–1. — С. 102–106.
9. Александров, А.С. Анализ причин колееобразования на покрытиях нежестких дорожных одежд и рекомендации по уменьшению этого явления / А.С. Александров, Т.В. Семенова, А.Л. Калинин. // Вестник СибАДИ. – 2019. [Электронный ресурс] URL: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-718-745
10. White Th.D., Haddock J.E., Hand A. J.T. Contributions of Pavement Structural Layers to Rutting of Hot Mix Asphalt Pavements // National Cooperative Highway Research Program. NCHRP Report No 468. Washington, D.C., 2002. 151 p
11. Dawley C.B., Hogewiede B.L., Anderson K.O. Mitigation of Instability Rutting of Asphalt Concrete Pavements in Lethbridge, Alberta, Canada. // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. Vol. 59, Association of Paving Technologists, St. Paul, Minnesota. 1990. P. 481–508
12. Lenngren C.A. Some Approaches in Treating Automatically Collected Data on Rutting. // Transportation Research Record 1196, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1988.
13. СП 34.13330.2021. Свод правил. Автомобильные дороги. : дата введения 2021-08-10 / Москва, 2021 [Электронный ресурс] URL: https://mindortrans.su/attachments/СП_34_13330_2021__Свод_правил__Автомобильные_дороги__СНиП_2.pdf

Causes of rut formation at weight in motion control points

Pekin N.A., Klekovkina M.P., Evtyukov S.S.
Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

JEL classification: L61, L74, R53

The article examines the main factors influencing the formation of ruts on highways. An analysis of domestic and foreign scientific studies has been carried out. Based on the analysis, the causes of rut formation can be systematized: abrasive wear of the pavement, additional compaction of the structural layers of the road pavement after the road is put into operation, plastic deformation of asphalt concrete layers, damage in the base layers and the subgrade due to the accumulation of residual deformations, traffic conditions (lane changes, acceleration, braking, etc.), and weather and climatic conditions that determine the seasonal specifics of rut formation. Based on field measurements of the depth of the rut on roads of technical categories I, II, and III, it has been established that the presence of a weight in motion control points is an independent factor influencing the intensity of rut formation. It has been found that a significant change in the depth of the rut occurs at a distance of 50 m before and 30 m after the power module installed in the road surface. In addition, during field observations, a reduction in the speed of freight vehicles to 15 km/h was recorded in the area where the weight in motion control point is located; this is typical mainly for overloaded vehicles and creates conditions for the accelerated accumulation of plastic deformations. It has been concluded that it is necessary to take into account the identified patterns when designing the structure of the road pavement in the area where the weight in motion control point is located.

Keywords: rut, rut formation factors, weight in motion control point, rut size, road pavement, plastic deformations.

References

1. Leonovich, I. I. Koleynost avtomobilnykh dorog: prichiny vozniknoveniya, sposoby likvidatsii // Trudy BGTU. — 2008. — № 2. — S. 38–42.
2. Timokhovets, V. D., Chepchugova, A. A., Babich, T. G. Izuchenie vliyaniya perestroeniy transportnykh sredstv na iznos verkhnikh sloyov dorozhnogo pokrytiya // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitelnogo universiteta. – 2025. – №1.
3. Iznos asfaltobetonnykh pokrytiy shipovannoy reziny [Elektronnyy resurs]. URL: http://www.dor.spb.ru/index/technology/iznospokrytiy/ (data obrashcheniya: 20.08.2026).
4. Vasilev, A.P. Ekspluatatsiya avtomobilnykh dorog i organizatsiya dorozhnogo dvizheniya / A.P. Vasilev. – M.: Transport, 1990. – 304 s.
5. Kamenchukov A.V., Kormilitsyna L.V., Lopashuk V.V., Tsupikova L.S. Vliyanie sverkhnormativnoy nagruzki na iznos i razrushenie dorozhnoy odezhdy // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatelskiy zhurnal. 2021. № 4-1(106). S. 57–63.
6. Uglanov Yu.A. Issledovanie koleynosti i opredelenie riska vozniknoveniya DTP na dorogakh, podverzhennykh obrazovaniyu kolei // Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitelstve. 2022.
7. Kovalev D.I., Shaykhutdinova R.A. Problemy koleyeobrazovaniya na avtomobilnykh dorogakh // Transportnye sooruzheniya. 2022. № 1. St. 7. EDN: IJBZOE. DOI: 10.15862/10SATS122. URL: https://t-s.today/PDF/10SATS122.pdf
8. Serova, O.V. Analiz primenimosti sovremennykh tekhnologiy remonta i borby s koleyeobrazovaniem na dorogakh / O.V. Serova, V.S. Gerasimov // Aktualnye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk. — 2016. — № 10–1. — S. 102–106.
9. Aleksandrov, A.S. Analiz prichin koleyeobrazovaniya na pokrytiyakh nezhestkikh dorozhnykh odezhd i rekomendatsii po umensheniyu etogo yavleniya / A.S. Aleksandrov, T.V. Semenova, A.L. Kalinin. // Vestnik SibADI. – 2019. [Elektronnyy resurs] URL: https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-718-745
10. White Th.D., Haddock J.E., Hand A.J.T. Contributions of Pavement Structural Layers to Rutting of Hot Mix Asphalt Pavements // National Cooperative Highway Research Program. NCHRP Report No 468. Washington, D.C., 2002. 151 p.
11. Dawley C.B., Hogewiede B.L., Anderson K.O. Mitigation of Instability Rutting of Asphalt Concrete Pavements in Lethbridge, Alberta, Canada. // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. Vol. 59, Association of Paving Technologists, St. Paul, Minnesota. 1990. P. 481–508.
12. Lenngren C.A. Some Approaches in Treating Automatically Collected Data on Rutting. // Transportation Research Record 1196, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1988.
13. SP 34.13330.2021. Svod pravil. Avtomobilnye dorogi. : data vvedeniya 2021-08-10 / Moskva, 2021 [Elektronnyy resurs] URL: https://mindortrans.su/attachments/SP_34_13330_2021__Svod_pravil__Avtomobilnye_dorogi__SNiP_2.pdf