

УДК 625.8
УДК 625.12

Журавлев Игорь Николаевич

Кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО ПГУПС,
Россия, Санкт-Петербург

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ КОЛЕЙНОСТИ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

Аннотация. Условия эксплуатации автомобильных дорог предъявляют повышенные требования к состоянию дорожных одежд, которые находятся под воздействием комплекса неблагоприятных факторов различного характера и подвержены образованию дефектов и деформаций. Практика эксплуатации автомобильных дорог показывает, что широкое распространение имеет явление колеи. В статье рассматриваются причины и механизм образования деформаций на автодорогах, приводятся результаты исследований по изучению влияния различных факторов эксплуатационного характера на процесс образования деформаций, в том числе колеи. Кроме того, рассматривается возможность снижения риска образования колеи при армировании слоев автодорожной конструкции геоматериалами. На основе результатов проведенных исследований предлагается способ учета геоматериала в конструкции автодорог, основанный на замене геоматериала эквивалентным слоем, с последующим внедрением данного способа в разработанную методику расчета напряженно-деформированного состояния армогрунтовой конструкции и адаптацией к задачам автодорожного строительства.

Abstract. Operating conditions of roads impose increased requirements on the condition of pavement, which are under the influence of a complex of adverse factors of various nature and are prone to the formation of defects and deformations. The practice of operating roads shows that rutting is widespread. The article discusses the causes and mechanism of the formation of deformations on roads, presents the results of studies on the influence of various factors of an operational nature on the process of formation of deformations, including gauge. In addition, the possibility of reducing the risk of rut formation when reinforcing layers of a road structure with geomaterials is being considered. Based on the results of the research, a method is proposed for accounting for geomaterial in the construction of roads, based on replacing the geomaterial with an equivalent layer, with the subsequent introduction of this method into the developed methodology for calculating the stress-strain state of an armored structure and adapting it to the tasks of road construction.

Ключевые слова: геоматериал, деформация, напряжение, нагрузка, колея, автомобильная дорога, дорожное покрытие, земляное полотно, напряженно-деформированное состояние, штамповые испытания, лабораторные испытания.

Keywords: geomaterial, deformation, stress, load, track, road, road surface, subgrade, stress-strain state, stamp tests, laboratory tests.

Условия эксплуатации автомобильных дорог, как в России так и за рубежом, предъявляют повышенные, неуклонно ужесточающиеся требования к состоянию дорожных одежд. Дорожная одежда, в особенности ее верхние слои, работают в тяжелых условиях, находясь под воздействием комплекса неблагоприятных факторов различного характера. Вертикальные динамические нагрузки, возникающие в процессе движения автомобилей по дороге, сопровождаются нагрузками ударного характера, обусловленными наличием неровностей на поверхности дороги, а также горизонтальными (касательными) нагрузками, действующими в плоскости контакта колеса с покрытием. Результирующие нагрузки при этом, как правило, наклонены к плоскости качения. Напряжения, возникающие в дорожной одежде, имеют свойство затухать с глубиной, что позволяет использовать в слоях дорожной одежды материалы различной прочности в зависимости от величины действующих напряжений.

Автодорожные покрытия, функционирующие круглогодично в самых различных режимах загрузки, подвержены образованию широкого спектра дефектов и деформаций [1].

Согласно [2] деформации дорожного покрытия в зависимости от величины прикладываемой нагрузки могут быть условно разделены на три группы:

1. При незначительной нагрузке и достаточном уплотнении слоев дорожной одежды и земляного полотна проявляются упругие деформации, разрушение дорожных одежд не происходит;

2. При увеличении нагрузки, некачественном уплотнении, а также при сезонном снижении несущей способности грунтов основания возникают вязкопластические деформации, при достижении некоторые предельных значений происходит разрушение дорожных одежд;

3. При значительных нагрузках или при существенном ослаблении несущей способности грунтов основания происходит накопление пластических деформаций (в начале процесса более медленное, впоследствии «лавинообразное»), происходит полное разрушение дорожных одежд.

Воздействие нагрузки приводит к сжатию дорожной одежды в пределах активной зоны и к дальнейшему прогибу по поверхности криволинейного очертания, что ведет к образованию так называемой «чаши прогиба», при

критической величине которой происходит разрушение дорожной одежды. Прочность грунтового основания зависит от величины давления, распределенного по некоей площади, что, в свою очередь, напрямую связано с толщиной слоев дорожной одежды. В период, когда вследствие переувлажнения снижается прочность грунтового основания, при воздействии автомобилей с высокой осевой нагрузкой существующая толщина дорожной одежды не обеспечивает безопасное удельное давление. При превышении предельно допустимых величин прочности материалов верхних и нижних слоев дорожной одежды происходит образование трещин. В нижних слоях дорожных одежд из малосвязных материалов и в грунтовых основаниях могут возникать необратимые пластические деформации, развитие которых приводит к разрушению дорожных одежд. Увеличение вероятности появления перечисленных деформаций связано с одновременным воздействием динамической нагрузки и неблагоприятными климатическими факторами [2].

Наиболее опасными напряжениями для многослойной конструкции дорожной одежды из монолитных материалов являются растягивающие напряжения, возникающие в отдельном слое при работе его на изгиб. Максимальные растягивающие напряжения в усовершенствованном типе покрытия возникают в плоскости его нижней поверхности по оси действующей динамической нагрузки. Основным видом нарушения сплошности грунтов основания и слабосвязных слоев дорожной одежды под действием транспортных нагрузок является сдвиг, вызываемый касательными напряжениями. Горизонтальные напряжения часто являются причиной развития пластических деформаций, а также и разрушений в верхних слоях дорожной одежды, выражающихся в виде сдвигов, волн, поперечных трещин, колеи, причем возникновение деформаций такого рода характерно для покрытий небольшой мощности, толщиной до 8 см [3], [4].

Практика эксплуатации автомобильных дорог показывает, что широкое распространение получило, в частности, такое явление, как колеиность. Процесс неравномерного износа верхних слоев дорожных одежд, накопления пластических деформаций в нижних слоях и земляном полотне, приводящий к образованию колеи, обусловлен воздействием внешних и внутренних факторов, зачастую сочетанных, таких как характер и величина действующих динамических нагрузок, климатические условия, физико-механические свойства грунтов земляного полотна и материалов дорожной одежды, степень уплотнения слоев автодорожной конструкции, температурно-влажностный режим [5].

Механизм образования колеи заключается в повышенном абразивном износе верхнего слоя дорожной одежды в зоне контакта колеса с покрытием, развитии вертикальных и

горизонтальных пластических деформаций под воздействием динамической нагрузки, нарушении сплошности материала слоев дорожной одежды при превышении предельных значений вертикальных и горизонтальных напряжений, развитии деформаций в нижних слоях дорожной конструкции и земляном полотне.

Одним из наиболее важных внешних факторов эксплуатационного характера, способствующих образованию колеи, является динамическое воздействие автомобилей с повышенной осевой нагрузкой и увеличенным количеством осей, особенно на автомобильных дорогах с высокой интенсивностью движения [6]. Данный фактор приводит к возрастанию количества динамических нагружений ударного характера, за счет этого свободные колебания слоев дорожной одежды получают большую продолжительность, что при неблагоприятном сочетании временных диапазонов воздействий и частот собственных колебаний слоев конструкции дорожной одежды приводит к накоплению пластических деформаций и разрушению.

Проведенные исследования выявили, что существует нелинейная функциональная связь между уровнем динамической нагрузки и техническими характеристиками автомобилей, их скоростным режимом. Воздействие на дорожную конструкцию многоосных автомобилей, в особенности автомобилей, имеющих сдвоенные оси, приводит к существенному увеличению динамических прогибов в сравнении с аналогичными показателями для двухосных автомобилей [7].

В ходе еще одних исследований были проанализированы амплитудные значения динамических сил в дорожной конструкции, состоящей из пяти слоев, при воздействии на нее автомобилей различной осности. Результаты исследований показали, что такие факторы, как количество и расположение осей, скоростные режимы движения сильно влияют на уровень вибродинамического воздействия на конструкцию и формирование спектра динамических вибрационных прогибов, при движении многоосных автомобилей эти прогибы возрастают примерно в два раза по сравнению с показателями для двухосных автомобилей [8].

В Архангельске были проведены исследования по оценке влияния на транспортно-эксплуатационные показатели дорожного покрытия различных типов грузовых автомобилей (33т, 60т, 72т и 90т). Сравнительный анализ результатов определения осадки земляного полотна свидетельствует о значительном ее увеличении на ослабленном земляном полотне по причине «выдавливания» воды через трещины в покрытии под действием тяжелых транспортных нагрузок, грузовые автомобили, движущиеся в колонне, еще более усиливают этот эффект. Влияние более тяжелых грузовых автомобилей четко прослеживается по результатам расчета осадки

земляного полотна. Эта величина для грузового автомобиля грузоподъемностью 60т примерно на 25% выше по сравнению с 33-тонным автомобилем. Величина осадки земляного полотна под воздействием 72-тонного и 90-тонного грузовых автомобилей примерно на 50% выше, чем 33-тонного [9].

Анализ результатов проведенных в Финляндии, на примере двух опытных участков позволил, например, отметить, что длиннобазные и более тяжелые автомобили вызывают большие деформации на границе земляное полотно-дорожная одежда, а напряжения в верхних слоях при движении 72 и 90-тонных автомобилей ниже по сравнению с 60-тонным [10].

Вероятность образования пластических деформаций в нежестких дорожных одеждах, как отмечается в работах профессора Корсунского, увеличивается при осевых нагрузках свыше 120 кН, а дальнейший рост осевой нагрузки до 130 кН, приводит к повышению этой вероятности в два-три раза, что, в свою очередь, диктует необходимость индивидуального проектирования конструкции дорожных одежд под конкретные условия [11].

Комплексные исследования проблемных участков автомобильных дорог, где нарушена ровность покрытия, либо имеет место высокая деформированность были выполнены в Алтайском крае. Экспериментальная часть исследований осуществлялась методом статического нагружения колесом автомобиля, в результате разработаны рекомендации по ограничению интенсивности и состава движения в неблагоприятные периоды года [12].

В условиях недостаточной несущей способности слоев основания и грунтов земляного полотна ярко проявляются глубинные деформации, очень быстро и негативно сказывающиеся на состоянии верхнего слоя дорожной одежды и являющиеся главенствующей причиной возникновения колеи. Если негативные последствия абразивного истирания покрытия и пластические деформации верхних слоев дорожной одежды устраняются в процессе текущего содержания и ремонта автодорог, то повышенная деформативность слоев основания дорожной одежды и земляного полотна может быть устранена только в ходе капитальных ремонтов или реконструкции.

Между тем, применение в конструкции автомобильной дороги армогрунтовых конструкций на основе слоев современных геоматериалов, позволяет решать задачи по улучшению прочностных и деформативных характеристик грунтов земляного полотна и, в значительной степени, снизить риск возникновения колеи.

Упрочняющие слои геоматериала, при условии включения их в работу, воспринимают растягивающие усилия, подобно арматуре в железобетоне, что позволяет добиться более низкой деформативности армогрунтовой конструкции по

сравнению с массивом неармированного грунта. В качестве армирующих элементов чаще всего выступают георешетки и геосетки различных типов.

При армировании грунта геоматериалом, при условии его включения в работу, происходит увеличение модуля общей деформации, зависящее от варианта конструктивного решения [13]. Лабораторные штамповые испытания, проводимые в испытательных лотках, позволяют выявить закономерности изменения деформативных свойств армогрунтовых конструкций при варьировании параметров, таких как разновидность геоматериала, количество слоев и расстояние между слоями, глубина укладки, и, кроме того, в широком диапазоне изменения нагрузок различного характера, как статических, так и динамических [13], [14], [15].

Результаты, получаемые в ходе штамповых испытаний, позволяют учитывать наличие в грунтовой среде армирующих элементов методом введения в расчет однородного эквивалентного слоя, заменяющего по своему воздействию на напряженно-деформированное состояние воздействие геоматериала [16], [17]. Геометрические и деформационные характеристики такого эквивалентного слоя принимаются во соответствии с результатами лабораторных штамповых испытаний, полученными в условиях, соответствующих расчетным. Данный способ моделирования армирующих свойств положен в основу разработанной методики расчета напряженно-деформированного состояния, учитывающей наличие в многослойной конструкции геоматериала [17], [18], [19]. Эта методика была использована, в частности, при комплексных исследованиях железнодорожного земляного полотна [20], [21], в ходе которых была получена хорошая сходимости расчетных данных с результатами полевых испытаний на опытных участках, но может быть с успехом адаптирована и для решения инженерных задач автодорожного строительства, в частности для определения схемы армирования слоев автодорожной конструкции с целью предотвращения явления колеи.

Библиографический список

1. Журавлев И.Н. Факторы влияния на механизм образования деформаций в конструкции автомобильных дорог. // Научный аспект: научный журнал. – № 3. – Самара: Изд-во ООО «Аспект», 2019. – 345с. – ISSN 2226-5694.
2. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц [Электронный ресурс]: учебное пособие: самост. учеб. электрон. изд. / К. Е. Вайс; Сыкт. лесн. ин-т. – Электрон. дан. – Сыктывкар: СЛИ, 2013. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>.
3. Богуславский А.М., Богуславский Л.А. Основы реологии асфальтобетона / Под ред. проф. Н.Н. Иванова. - М., 1972. - 200 с.

4. Телегин М.Я., Корсунский М.Б., Зельманович М.С. Работоспособность и межремонтные сроки службы нежестких дорожных одежд. - М.: Автотрансиздат, 1956. - 167 с.
5. Журавлев И.Н. Применение геоматериалов для снижения колеяности на автомобильных дорогах. // Научный аспект: научный журнал. – № 3. – Самара: Изд-во ООО «Аспект», 2019. – 345с. – ISSN 2226-5694.
6. Журавлев И.Н. Вопросы влияния повышенных динамических нагрузок на состояние дорожных одежд. // Colloquium-journal: научный журнал. – № 22(46). – Варшава, 2019. – С. 50-53. – ISSN 2520-6990
7. Осиновская В. А. Разработка теории вибрационного разрушения нежестких дорожных одежд и путей повышения их долговечности. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва, МАДИ, 2011.
8. Осиновская В. А. Обоснование величины расчетной скорости движения автомобилей при проектировании нежестких дорожных одежд с учетом их вибрационного нагружения. // Известия КГАСУ, 2011, №3(17).
9. Оценка влияния тяжелых грузовых автоперевозок. Виртуальная симуляция - Изучение в российской части Баренц региона. Технический отчет. П. Варин, А. Матингупа, Т. Сааренкетто. – Архангельск, 2012.
10. Оценка влияния тяжелых грузовых автоперевозок – Изучение в Финляндии (а/д НW4, Баренц регион, Финляндия). Технический отчет. Т. Сааренкетто, Т. Херронен, А. Матингупа, П. Варин, А. Пелтониemi-Тайвалкоски. – Архангельск, 2011.
11. Красиков О.А. Особенности расчета и оценки прочности нежестких дорожных одежд на существующие расчетные осевые нагрузки, 2015. – Режим доступа: <http://rosdornii.ru/files/28-07-2015/9.pdf>
12. Черепанов Б.М., Бодосова Т.С., Моисеева О.Л., Хоменко В.А., Казанцев В.Г. Оценка несущей способности дорожных конструкций эксплуатируемых автомобильных дорог в грунтовых условиях Алтайского края. // Ползуновский вестник. – №1/2. – 2012.
13. Журавлев И.Н. Лабораторные испытания армогрунтовых конструкций. // Бюллетень результатов научных исследований. – 2012. – № 4(3). – С. 57-62.
14. Петряев А.В., Журавлев И.Н. Оценка влияния современных геоматериалов на напряженно-деформированное состояние земляного полотна. Модельные лабораторные испытания. // Исследования и разработки ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте: Межвузовский сборник научных трудов с международным участием. – Самара: СамИИТ, 2002. – С. 367-368.
15. Петряев А.В., Журавлев И.Н. Современные геоматериалы, модельные испытания в лабораторных условиях. // Современные проблемы и прогрессивные технологии в путевом хозяйстве Октябрьской железной дороги: Тезисы докладов 43 научно-технической конференции. – СПб.: ПГУПС, 2001. – С. 119-122.
16. Журавлев И.Н. Оценка влияния геоматериалов на деформативность грунтовых массивов и разработка способа моделирования армирующих свойств геоматериалов. // «Проблемы развития сети железных дорог»: Межвузовский сборник научных трудов. – Хабаровск, ДВГУПС, 2006. – с. 102-105.
17. Журавлев И.Н. Разработка методики расчета напряженно-деформированного состояния земляного полотна, усиленного геоматериалами. // «Железнодорожный транспорт: проблемы и решения»: Международный сборник трудов молодых ученых, аспирантов и докторантов. Выпуск 7. – СПб, ПГУПС, 2004. – С.38-42.
18. Журавлев И.Н. Оценка влияния геоматериалов на напряженно-деформированное состояние железнодорожного земляного полотна. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – СПб, ПГУПС, 2005.
19. Журавлев И.Н. Практическое приложение метода конечных элементов к расчетам напряженно-деформированного состояния армогрунтовых конструкций // Бюллетень результатов научных исследований. – 2012. – № 4 (5). – С. 26-33.
20. Петряев А.В., Журавлев И.Н. Исследования эффективности применения современных геоматериалов в конструкции железнодорожного пути. // Исследования и разработки ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте: Межвузовский сборник научных трудов с международным участием. Выпуск 21. – Самара: СамИИТ, 2001. – С. 319-320.
21. Свинцов Е.С., Журавлев И.Н. Комплексные исследования по определению эффективности применения современных геоматериалов в конструкциях усиления земляного полотна. // Применение геоматериалов при строительстве и реконструкции транспортных объектов: Материалы II-ой международной научно-технической конференции – СПб.: ПГУПС, 2002. – С. 20-23.