



Направление подготовки 08.04.01 «Строительство»

Магистерская программа «Проектирование, строительство и
Эксплуатация автомобильных дорог»

Тема магистерской диссертации:
Исследование характеристик колеиности по Республике Башкортостан

Студент: гр. МДС-17-01

Д.В. Бикташев

Руководитель: профессор, д-р техн.наук

В.В. Яковлев

Научный консультант, профессор, д-р. техн. наук

М.М. Фаттахов

Нормконтролер, канд.техн. наук, доцент

И.Р. Шайхуллин



1. Состояние вопроса.
2. Разработка расчетной модели для прогнозирования показателя ровности дорожной одежды в поперечном направлении.
3. Экспериментальные исследования процесса колееобразования. Исследование распределения расстояния от центра отпечатка колеса грузового автомобиля до оси полосы наката.
4. Практические рекомендации по расчету и ограничению глубины колеи.
5. Оценка экономического эффекта от применения результатов исследования.

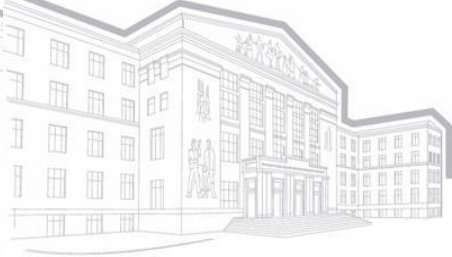




Актуальность темы

Работоспособность дорожных одежд нежесткого типа в значительной степени определяется ровностью покрытия. Одной из главных причин потери ровности дорожных одежд нежесткого типа является неравномерное накопление остаточных деформаций, во многих случаях вызванное влиянием неупругих свойств грунтов земляного полотна. С началом эксплуатации происходит деградация ровности дорожного покрытия. Снижение ровности в продольном направлении сопровождается возникновением колеи на поперечном профиле проезжей части.





Цель диссертации предусматривает исследование изменения ровности дорожного покрытия и образования колеи под действием многократно повторных транспортных нагрузок, разработку методики прогнозирования глубины колеи на дорожных одеждах нежесткого типа и обоснование рекомендаций по ее ограничению.





Задачи

- На основе анализа результатов исследований неупругих деформаций грунта земляного полотна разработать модель образования колеи и изменения ровности в поперечном направлении;
- Провести экспериментальные исследования процесса колееобразования вызванного неупругим деформированием грунта земляного полотна;
- Проанализировать работоспособность предложенной модели изменения ровности в поперечном направлении по результатам экспериментальных исследований;
- Разработать рекомендации и меры по ограничению глубины колеи на дорожных одеждах нежесткого типа на стадиях проектирования и эксплуатации автомобильных дорог.





Глава 1. Состояние вопроса

Влияние распределения проходов автомобилей по ширине полосы движения на развитие остаточных деформаций

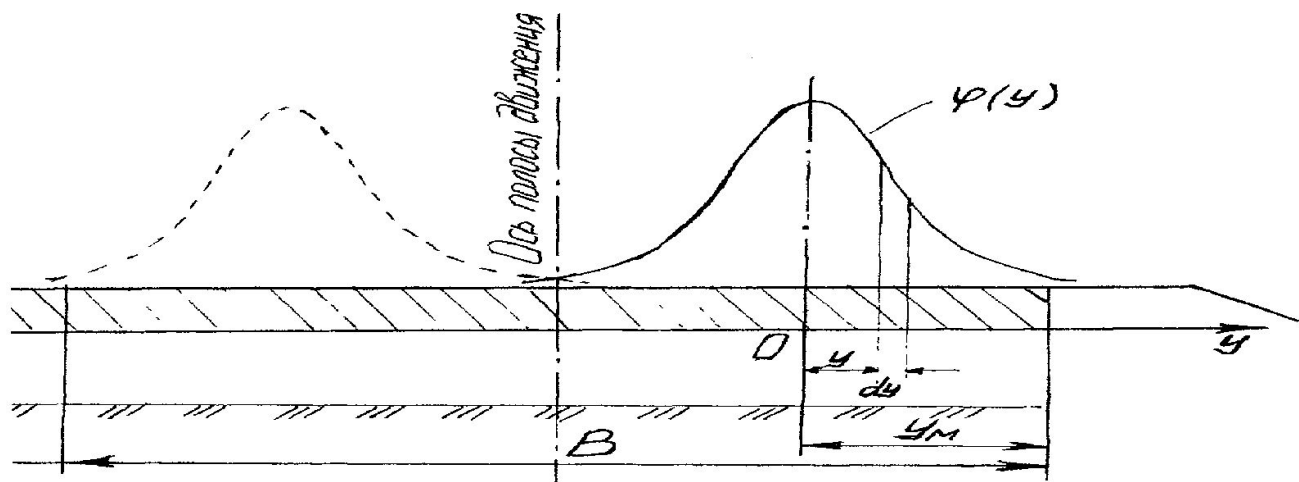
Одним из наиболее важных показателей состояния дорог является их ровность, существенно влияющая на стоимость перевозок, безопасность, удобство и скорость движения. Колея при определенной её глубине оказывает заметное влияние на безопасность и режим движения автомобилей. При необеспеченном водоотводе вода, скапливающаяся в колее, через трещины покрытия проникает в нижележащие слои одежды и в грунт земляного полотна, что приводит к существенному снижению модулей упругости материалов и грунта и увеличению темпа разрушения всей дорожной конструкции.





Раскрытие первых трещин, возникающих в результате воздействия кратковременных движущихся нагрузок, обычно начинается в нижней зоне изгибаемого слоя вдоль линии, соответствующей математическому ожиданию траектории колес, так как суммарное воздействие колёс в этой точке является наибольшим. Поэтому в дальнейшем наибольшая расчетная глубина колеи будет рассматриваться в точках, расположенных на прямой $y=0$.

Для определения числа проездов расчетных автомобилей в любой точке поперечного профиля необходимо иметь функцию $\varphi(y)$ и знать расчетную интенсивность движения по данной полосе.





Наблюдения на дорогах за положением траектории колёс, пересекающих данный поперечник, что плотность вероятности $\varphi(y)$ расположения траектории центра отпечатков колёс на расстоянии y от среднего положения этой траектории близка к нормальному закону распределения:

$$\varphi(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma^2}\right),$$

где σ – среднееквадратичное отклонение величины расстояния от центра отпечатка колеса до среднего положения продольной оси полосы наката;

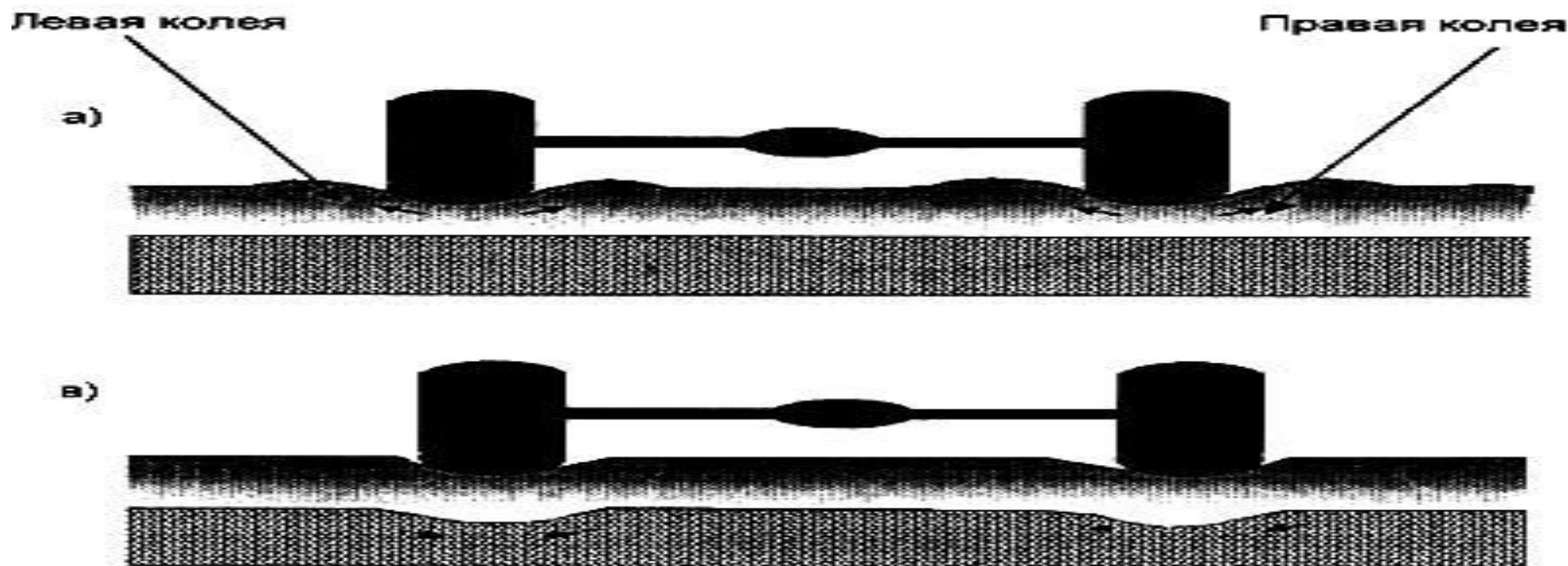
y_m – расстояние от среднего положения центра отпечатка правого колеса до правой кромки покрытия.



Существующие модели определения величины остаточных деформаций нежесткой дорожной одежды и земляного полотна

Колейность является остаточной деформацией, причины возникновения которой можно разделить на две группы:

- причины, связанные с влиянием движения;
- причины, не связанные с движением.





Существуют два механизма накопления деформаций дорожной конструкции при действии подвижной нагрузки:

- Доуплотнение – включает изменение объема материала, которое вызвано более плотной упаковкой частиц материала и иногда дроблением частиц на более мелкие.
- Пластическое течение – устойчивость слоев к сдвиговым деформациям проверяется расчетом при проектировании конструкции дорожной одежды.



Износом покрытия называют процесс уменьшения толщины покрытия в результате постепенной потери материала под многократно повторным действием движения транспортных средств и природных факторов. Износ вызывается комплексным воздействием механических сил (при проходе колес) и атмосферных факторов. Ослабленная в результате размокания, замерзания воды в порах, влияния перемены температуры, сильного нагревания солнцем и действия ветра поверхность покрытия легче поддается разрушению колесами. Действие атмосферных факторов проявляется в физическом и химическом выветривании материала покрытия.





Выделив часть износа, зависящую от влияния климатических факторов, ее можно выразить формулой:

$$H = a + b \cdot N / 1000 \text{ мм/год,}$$

где H - годовой износ покрытия, мм;

N - интенсивность движения, авт./сут;

a - параметр, зависящий от погодоустойчивости покрытия и климатических условий, мм;

b - коэффициент, зависящий от качества и прочности слоя износа, типа покрытия и состава движения.





Как правило, интенсивность движения по дороге с течением времени возрастает, увеличиваясь в геометрической прогрессии со знаменателем q .

При этих предпосылках износ за t лет с учетом изменения состава и интенсивности движения:

$$H_t = at + \frac{bN_1}{1000} \cdot \frac{(kq_1)^{t-1}}{kq_1 - 1},$$

где N_1 - интенсивность движения в исходном году, авт./сут.;

q_1 - показатель ежегодного роста интенсивности движения, $q_1 > 1,0$;

$k = 1,05-1,07$ - коэффициент, учитывающий изменения в составе движения.



Глава 2. Разработка расчетной модели для прогнозирования показателя ровности дорожной одежды в поперечном направлении

Математическое ожидание величины остаточной деформации (равномерная деформация) на поверхности земляного полотна, в зависимости от суммарного времени действия активного касательного напряжения, его величины и состояния грунта по влажности можно определить:

$$\bar{U} = 10^{\left(-4,3 + 28,44 \cdot \frac{\bar{\tau}_{акт}}{\tau_o} + 0,76 \cdot \bar{B} \right)} \cdot \left(1 + \frac{t}{t_o} \right)^{(0,20 + 0,13 \cdot \bar{B})},$$

где $\bar{U}$ – математическое ожидание остаточной деформации на поверхности земляного полотна (равномерная остаточная деформация);

$\bar{\tau}_{акт}$ – математическое ожидание величины активных касательных напряжений, возникающих в рабочем слое земляного полотна от действия транспортной нагрузки и собственной массы дорожной одежды, МПа;

$\tau_o = 1$ МПа – мгновенная прочность грунта (сопротивление сдвигу);

t – суммарное время действия активных касательных напряжений, возникающих от действия подвижной нагрузки и собственного веса дорожной конструкции, с;

$t_0 = 1$ с;

$B = (W_{ф} - W_p) / (W_p - W_l)$ - математическое ожидание коэффициента консистенции глинистого грунта, в долях единицы.



Для моделирования процесса накопления остаточных деформаций и развития процесса колееобразования в дорожной конструкции для любой точки поперечного профиля проезжей части с учетом влияния свойств связных грунтов земляного полотна, рассмотрим следующую зависимость:

$$S(x) = K_1 \cdot K_2 \cdot M \cdot 10^a \cdot \left(1 + \frac{t(x)}{t_0}\right)^b,$$

где $S(x)$ - максимальное значение глубины колеи в рассматриваемой точке поперечного профиля проезжей части, мм;

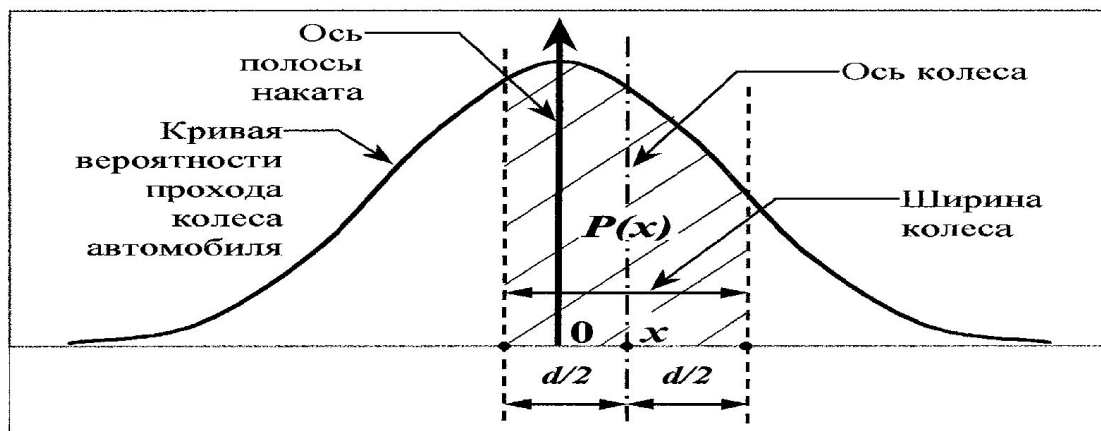
K_1 - коэффициент, учитывающий вклад слоев дорожной одежды в величину накопленной остаточной деформации на поверхности покрытия, $K_1 = 1,20$;

K_2 - коэффициент перехода от ровности в продольном направлении к ровности в поперечном направлении (величина коэффициента определяется в параграфе 2.4, $K_2 = 2,56$);

M - коэффициент перехода от математического ожидания глубины колеи к ее максимальному значению в данной точке, с вероятностью 95%



Данная функция позволяет учесть влияние ширины покрышек колес расчетного автомобиля и плотность распределения проходов автомобилей по ширине полосы движения.



где x - расстояние от оси полосы наката, до расчетной точки, м;

d - колеса расчетного грузового автомобиля, м;

σ - среднеквадратическое отклонение расстояния от оси полосы наката до центра отпечатка колеса грузового автомобиля, м;

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad - \text{табулированная функция Лапласа (нечетная)}$$



Глава 3. Физическая сущность процесса колееобразования и накопления неравномерных остаточных деформаций в грунте

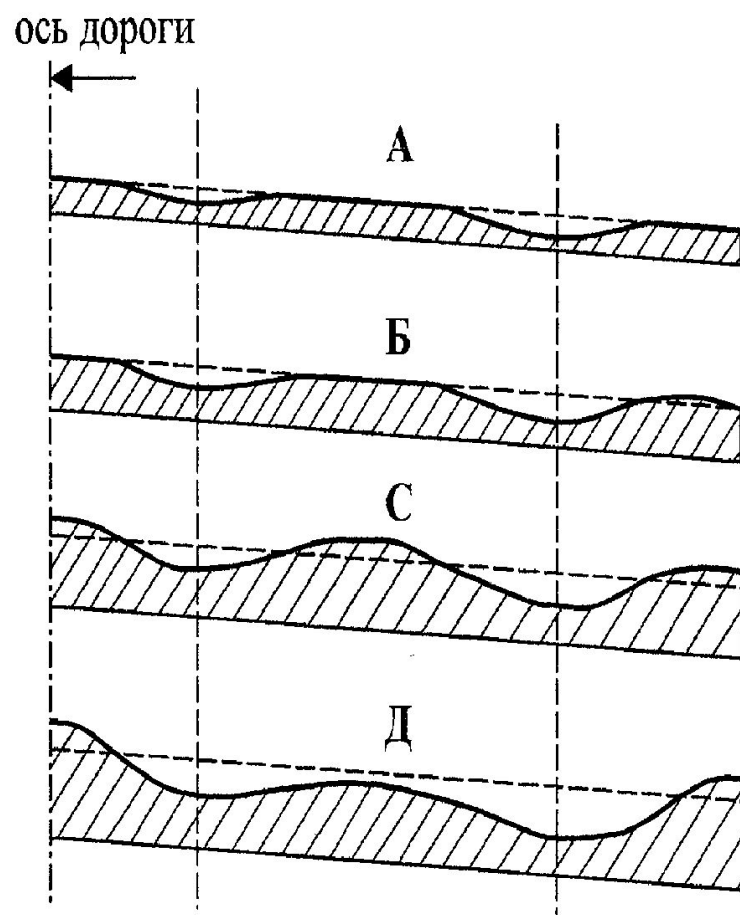
Формы колеиности на поперечном
профиле полосы движения:

А - углубления по полосам наката;

Б - углубления по полосам наката с
одним гребнем или валом выпирания;

В - углубления по полосам наката с
двумя или тремя гребнями выпирания;

Д - углубления по полосам наката с
общим проседанием поверхности
проезжей части





Возникновение накопленной остаточной деформации обуславливается наличием следующих факторов:

- неоднородность условий воздействия нагрузки от движущихся автомобилей, включая повышенные удельные давления от колеса на дорогу, а также увеличение нагрузок от колебания кузова на неровностях;
- неоднородность толщины дорожной одежды вследствие допустимых, а в ряде случаев и сверх допустимых отклонений;
- неоднородность прочности дорожной одежды вследствие деструктивного воздействия нагрузок и природных факторов;
- изменчивость во времени и в пространстве водно-теплового режима земляного полотна и особенно его влажности, а также ежегодное промерзание и оттаивание грунта.



Оценка прочности, толщины дорожной одежды и вида грунта земляного полотна в накоплении остаточных деформаций

В слоях дорожной одежды накапливается от 20 до 40% от общей остаточной деформации в дорожной конструкции. Как известно, неравномерные остаточные деформации, приходящиеся на долю дорожной одежды, накапливаются в основном в несвязных слоях.

Каменный материал во всех видах дорожных конструкций подвергается совместному воздействию транспорта, в виде периодически прилагаемой нагрузки, при одновременных ослабляющих воздействиях воды, отрицательной температуры и других природных факторов. С течением времени каменный материал разрушается, происходит постепенное его измельчение до такого состояния, при котором дорожная одежда теряет свою первоначальную прочность и жесткость (снижается модуль упругости), начинают преобладать пластические деформации. Степень и интенсивность измельчения каменного материала в дорожной одежде, зависит в первую очередь от качества каменного материала - прочностных свойств, морозостойкости, вида и структуры исходной горной породы, крупности зерен и зернового состава и других особенностей материала, влияющих на степень его измельчения в процессе ее эксплуатации



Экспериментальные исследования процесса колееобразования. Исследование распределения расстояния от центра отпечатка колеса грузового автомобиля до оси полосы наката

Для того, чтобы определить величину среднеквадратичного отклонения величины расстояния от центра отпечатка колеса до оси полосы наката, был поставлен эксперимент. Для проведения эксперимента была выбрана дорога Зилим-Караново – Зириково – Бурлы III технической категории в Гафурийском районе. Суточная приведенная интенсивность движения на данном участке составляла примерно 600 автомобилей. Ширина проезжей части равна 7 м, а ширина полосы движения соответственно 3,5 м. Во время проведения эксперимента покрытие находилось в чистом хорошем состоянии, без выбоин и трещин. На покрытии присутствовала дорожная разметка. Обочины укреплены щебнем. Участок находился на прямой вставке, с незначительным уклоном. Наблюдение производилось в хорошую погоду и в дневное время суток.



УГНТУ

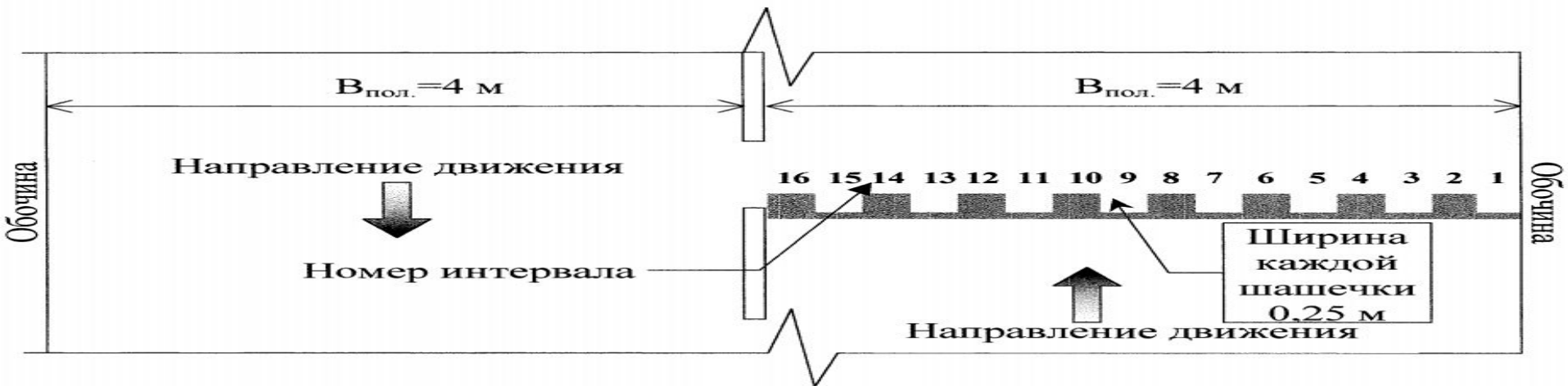
ФГБОУ ВО «УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



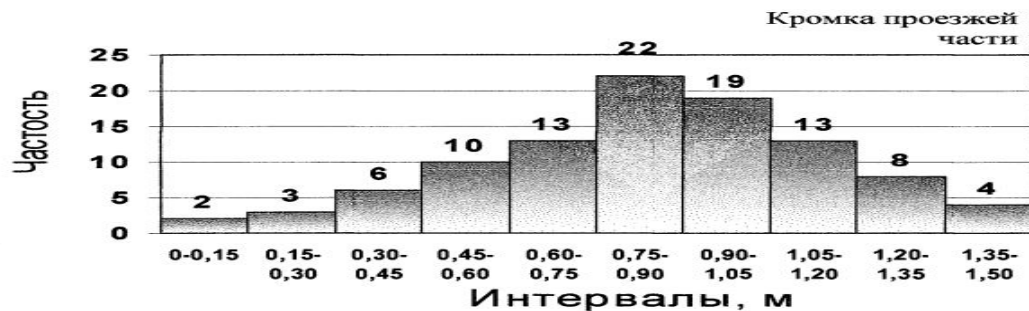
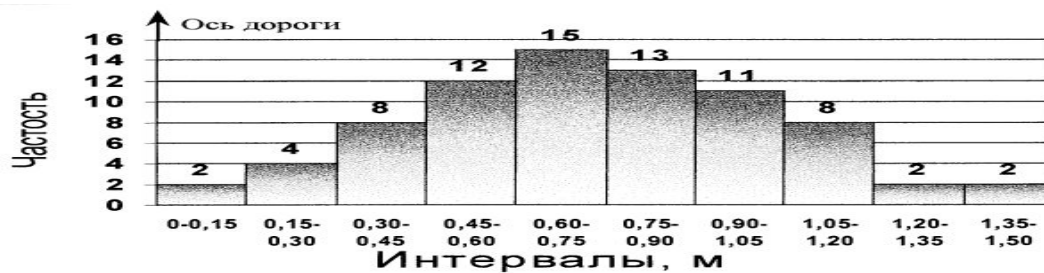


На выбранном участке дороги, поперек полосы движения, быстросохнущей краской была нанесена специальная разметка в виде шашечек. К каждой шашечке был подписан свой порядковый номер. Нумерация производилась от обочины к центру проезжей части. Ширина и длина у всех шашечек была одинаковая и равнялась 0,25 м, то есть на полосе движения уместилось ровно 16 штук (по 4 штуке на 1 м).



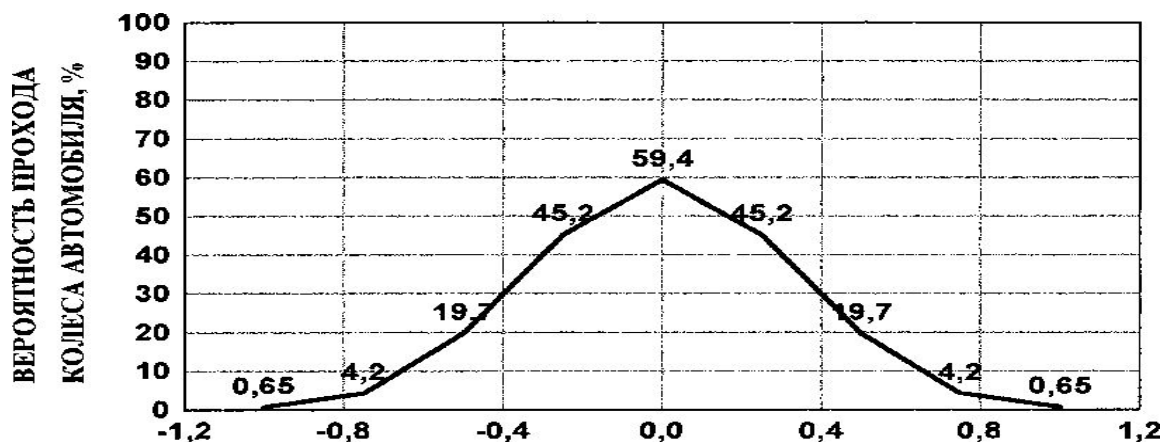


Гистограммы частоты по левой и правой полосе наката:





Данные распределения были проверены с помощью критерия согласия хи-квадрат Пирсона на их соответствие теоретическому (нормальному) распределению. Оказалось, что при числе степеней свободы, равном 9, и хи-квадрат, равном 2,74 для распределения по левой полосе наката и 3,01 для распределения по правой, вероятность соответствия данных эмпирических распределений выбранному нормальному распределению составляет соответственно 0,971 и 0,964. То есть, с уверенностью можно сказать, что распределение числа проходов по ширине полосы наката соответствует нормальному закону.





Глава 4. Рекомендации по расчету и ограничению глубины колеи. Методика расчета при прогнозировании глубины колеи

Расчет дорожных одежд, который обеспечивает необходимые потребительские качества, связан с обоснованием такой конструкции, в которой под воздействием движущегося транспорта в соответствующих дорожно-климатических условиях накопление остаточных деформаций было бы ограничено допустимой величиной, связанной с допустимой ровностью.



Предлагаемая последовательность расчета:

1. Расчет дорожной одежды нежесткого типа по методике действующей инструкции ОДН 218.046-01.
2. Расчет максимальной глубины колеи по формуле, для точки находящейся на оси полосы наката.
3. Сопоставление полученной величины накопленной остаточной деформации с допустимой по предлагаемым нормам.
4. Исходя из результата сопоставления по пункту 3, при необходимости, производится перерасчет дорожной конструкции, с применением предлагаемых мероприятий по снижению скорости развития процесса колееобразования, с тем, чтобы расчетное значение накопленной деформации было меньше или равно допустимому значению.



Глава 5. Оценка экономического эффекта от применения результатов исследования

Транспортно-эксплуатационное состояние автомобильной дороги в значительной мере зависит от качества дорожной одежды, в особенности от ее ровности. Обеспеченная ровность является одним из основных показателей, определяющих фактический срок службы дорожной одежды. Данные обследований состояния автомобильных дорог, выполненных в разных странах, показывают, что образование колеи недопустимой глубины составляет от 2 до 35% от всех причин снижения транспортно-эксплуатационных качеств автомобильных дорог высоких классов.





В зависимости от изменения ровности дорожной одежды и глубины колеи изменяется скорость движения автомобиля, определяющая эффективность работы автомобиля. Исследованиями этого вопроса занимались многие ученые и получен ряд эмпирических и теоретических зависимостей скорости движения одиночного автомобиля и транспортного потока от показателя ровности проезжей части.





Выводы

1. Рассмотрено влияние распределения проходов автомобилей по ширине полосы движения на развитие остаточных деформаций. Проанализированы существующие модели определения величины остаточных деформаций нежесткой дорожной одежды и земляного полотна.

2. С помощью зависимости предложенной С.Ю. Каныгиной, была разработана модель позволяющая определять глубину колеи в различных точках поперечного профиля дорожного покрытия, с учетом распределения числа проходов автомобилей по ширине полосы движения.

Главной причиной возникновения и накопления остаточных деформаций в грунте, а затем и в одежде в целом, является то, что напряжения от временных нагрузок в отдельных конструктивных слоях и в грунте, в период, когда условия увлажнения складываются наиболее неблагоприятно, превышают допустимые напряжения по сдвигу.

3. Проведенное исследование по наблюдению на дороге за положением траектории колёс, подтвердило, что закон распределения положений центров отпечатков колёс по ширине полосы движения близок к нормальному закону распределения.

Численно определен параметр нормального закона распределения -среднеквадратичное отклонение величины расстояния от центра отпечатка колеса грузового автомобиля до оси полосы наката ($\sigma=0,3$). Величина среднеквадратичного отклонения характеризует агрессивность воздействия подвижной нагрузки, выраженную суммарным временем действия нагрузки в любой точке профиля полосы движения



С учетом ширины покрышек задних колес грузового автомобиля уточнен коэффициент поперечной установки: $K_{пу}=0,59$. Этот коэффициент необходим, при расчете суммарного движения по данной полосе за срок, на конец которого прогнозируется глубина колеи. Он характеризует вероятность прохождения колеса автомобиля по оси полосы наката

4. Наиболее эффективными способами для обеспечения требуемого транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог по ровности и глубине колеи являются:

- замена грунта земляного полотна;
- устройство основания или морозозащитных слоев на границе раздела с грунтом земляного полотна из укрепленных материалов и грунтов на основе суглинка и зологрунтов;
- замена одного из слоев конструкции дорожной одежды цементобетонным слоем;

Главное значение для обеспечения устойчивости дороги к развитию процесса колееобразования является правильный выбор типа грунта земляного полотна и поддержание его влажности на расчетном уровне.

Замену грунта нужно выполнять на всю глубину промерзания для обеспечения защиты конструкции от морозного пучения и с точки зрения защиты от накопления остаточных деформаций и образования колеи.



ФГБОУ ВО «УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Спасибо за
внимание!



1. Состояние вопроса.
2. Разработка расчетной модели для прогнозирования показателя ровности дорожной одежды в поперечном направлении.
3. Экспериментальные исследования процесса колееобразования. Исследование распределения расстояния от центра отпечатка колеса грузового автомобиля до оси полосы наката.
4. Практические рекомендации по расчету и ограничению глубины колеи.
5. Оценка экономического эффекта от применения результатов исследования.

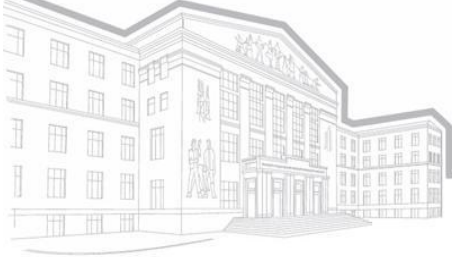




Актуальность темы

Работоспособность дорожных одежд нежесткого типа в значительной степени определяется ровностью покрытия. Одной из главных причин потери ровности дорожных одежд нежесткого типа является неравномерное накопление остаточных деформаций, во многих случаях вызванных влиянием неупругих свойств грунтов земляного полотна. С началом эксплуатации происходит деградация ровности дорожного покрытия. Снижение ровности в продольном направлении сопровождается возникновением колеи на поперечном профиле проезжей части.





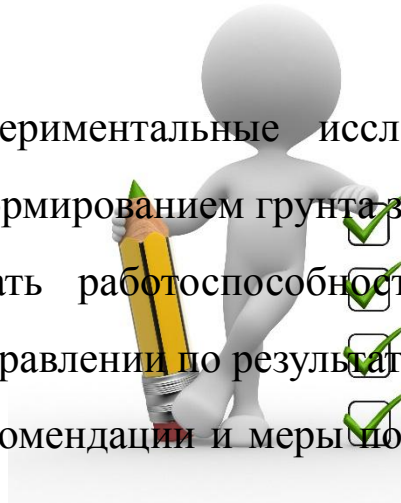
Цель диссертации предусматривает исследование изменения ровности дорожного покрытия и образования колеи под действием многократно повторных транспортных нагрузок, разработку методики прогнозирования глубины колеи на дорожных одеждах нежесткого типа и обоснование рекомендаций по ее ограничению.





Задачи

- На основе анализа результатов исследований неупругих деформаций грунта земляного полотна разработать модель образования колеи и изменения ровности в поперечном направлении;
- Провести экспериментальные исследования процесса колееобразования вызванного неупругим деформированием грунта земляного полотна;
- Проанализировать работоспособность предложенной модели изменения ровности в поперечном направлении по результатам экспериментальных исследований;
- Разработать рекомендации и меры по ограничению глубины колеи на дорожных одеждах нежесткого типа на стадиях проектирования и эксплуатации автомобильных дорог.





Глава 1. Состояние вопроса

Влияние распределения проходов автомобилей по ширине полосы движения на развитие остаточных деформаций

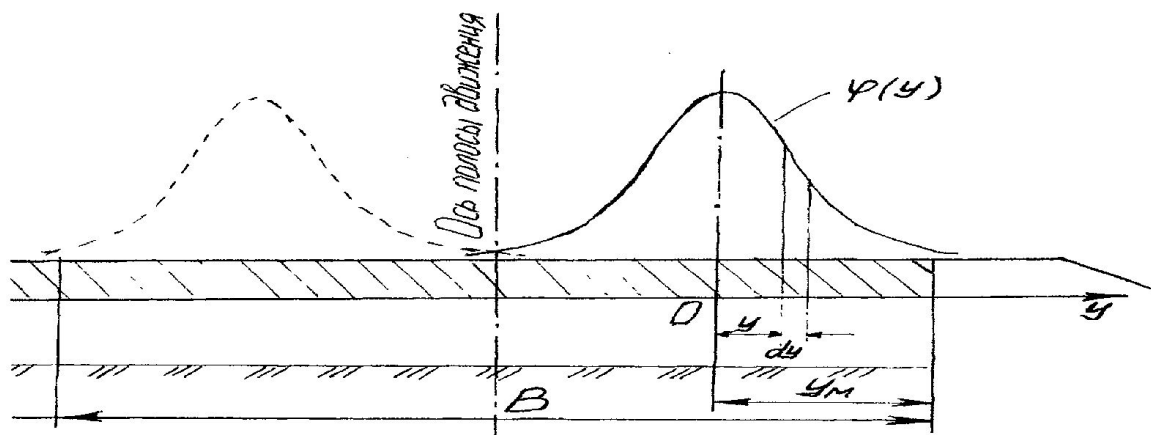
Одним из наиболее важных показателей состояния дорог является их ровность, существенно влияющая на стоимость перевозок, безопасность, удобство и скорость движения. Колея при определенной её глубине оказывает заметное влияние на безопасность и режим движения автомобилей. При необеспеченном водоотводе вода, скапливающаяся в колее, через трещины покрытия проникает к нижележащим слоям одежды и в грунт земляного полотна, что приводит к существенному снижению модулей упругости материалов и грунта и увеличению темпа разрушения всей дорожной конструкции.





Раскрытие первых трещин, возникающих в результате воздействия кратковременных движущихся нагрузок, обычно начинается в нижней зоне изгибаемого слоя вдоль линии соответствующей математическому ожиданию траектории колес, так как суммарное воздействие колёс в этой точке является наибольшим. Поэтому в дальнейшем наибольшая расчетная глубина колеи будет рассматриваться в точках, расположенных на прямой $y=0$.

Для определения числа проездов расчетных автомобилей в любой точке поперечного профиля необходимо иметь функцию $\varphi(y)$ и знать расчетную интенсивность движения по данной полосе.





Наблюдения на дорогах за положением траектории колёс, пересекающих данный поперечник, что плотность вероятности $\varphi(y)$ расположения траектории центра отпечатков колёс на расстоянии y от среднего положения этой траектории близка к нормальному закону распределения:

$$\varphi(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma^2}\right),$$

где σ – среднеквадратичное отклонение величины расстояния от центра отпечатка колеса до среднего положения продольной оси полосы наката;

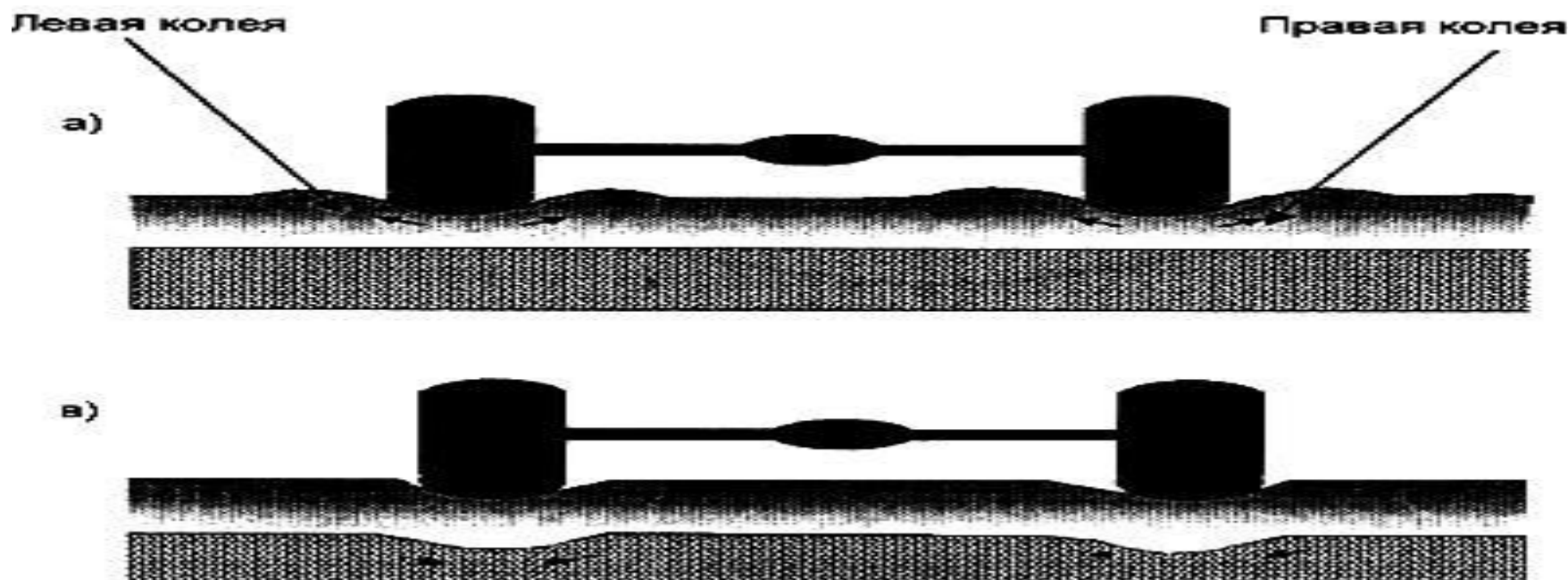
y_m – расстояние от среднего положения центра отпечатка правого колеса до правой кромки покрытия.



Существующие модели определения величины остаточных деформаций нежесткой дорожной одежды и земляного полотна

Колейность является остаточной деформацией, причины возникновения которой можно разделить на две группы:

- причины, связанные с влиянием движения;
- причины, не связанные с движением.





Существуют два механизма накопления деформаций дорожной конструкции при действии подвижной нагрузки:

- Доуплотнение – включает изменение объема материала, которое вызвано более плотной упаковкой частиц материала и иногда дроблением частиц на более мелкие.
- Пластическое течение – устойчивость слоев к сдвиговым деформациям проверяется расчетом при проектировании конструкции дорожной одежды.



Износом покрытия называют процесс уменьшения толщины покрытия в результате постепенной потери материала под многократно повторным действием движения транспортных средств и природных факторов. Износ вызывается комплексным воздействием механических сил (при проходе колес) и атмосферных факторов. Ослабленная в результате размокания, замерзания воды в порах, влияния перемены температуры, сильного нагревания солнцем и действия ветра поверхность покрытия легко поддается разрушению колесами. Действие атмосферных факторов проявляется в физическом и химическом выветривании материала покрытия.





Выделив часть износа, зависящую от влияния климатических факторов, ее можно выразить формулой:

$$H = a + b \cdot N / 1000 \text{ мм/год},$$

где H - годовой износ покрытия, мм;

N - интенсивность движения, авт./сут;

a - параметр, зависящий от погодоустойчивости покрытия и климатических условий, мм;

b - коэффициент, зависящий от качества и прочности слоя износа, типа покрытия и состава движения.





Как правило, интенсивность движения по дороге с течением времени возрастает, увеличиваясь в геометрической прогрессии со знаменателем q .

При этих предпосылках износ за t лет с учетом изменения состава и интенсивности движения:

$$H_t = at + \frac{bN_1}{1000} \cdot \frac{(kq_1)^{t-1}}{kq_1 - 1},$$

где N_1 - интенсивность движения в исходном году, авт./сут.;

q_1 - показатель ежегодного роста интенсивности движения, $q_1 > 1,0$;

$k = 1,05-1,07$ - коэффициент, учитывающий изменения в составе движения.



Глава 2. Разработка расчетной модели для прогнозирования показателя ровности дорожной одежды в поперечном направлении

Математическое ожидание величины остаточной деформации (равномерная деформация) на поверхности земляного полотна, в зависимости от суммарного времени действия активного касательного напряжения, его величины и состояния грунта по влажности можно определить:

$$\bar{U} = 10^{\left(-4,3+28,44 \cdot \frac{\bar{\tau}_{акт}}{\tau_o} + 0,76 \cdot \bar{B}\right)} \cdot \left(1 + \frac{t}{t_o}\right)^{(0,20+0,13 \cdot \bar{B})},$$

где $\bar{U}$ – математическое ожидание остаточной деформации на поверхности земляного полотна (равномерная остаточная деформация);

$\bar{\tau}_{акт}$ – математическое ожидание величины активных касательных напряжений, возникающих в рабочем слое земляного полотна от действия транспортной нагрузки и собственной массы дорожной одежды, МПа;

$\tau_o = 1$ МПа – мгновенная прочность грунта (сопротивление сдвигу);

t – суммарное время действия активных касательных напряжений, возникающих от действия подвижной нагрузки и собственного веса дорожной конструкции, с;

$t_o = 1$ с;

$B = (W_{ф} - W_p) / (W_p - W_l)$ - математическое ожидание коэффициента консистенции глинистого грунта, в долях единицы.



Для моделирования процесса накопления остаточных деформаций и развития процесса колееобразования в дорожной конструкции для любой точки поперечного профиля проезжей части с учетом влияния свойств связных грунтов земляного полотна, рассмотрим следующую зависимость:

$$S(x) = K_1 \cdot K_2 \cdot M \cdot 10^a \cdot \left(1 + \frac{t(x)}{t_0}\right)^b,$$

где $S(x)$ - максимальное значение глубины колеи в рассматриваемой точке поперечного профиля проезжей части, мм;

K_1 - коэффициент, учитывающий вклад слоев дорожной одежды в величину накопленной остаточной деформации на поверхности покрытия, $K_1 = 1,20$;

K_2 - коэффициент перехода от ровности в продольном направлении к ровности в поперечном направлении (величина коэффициента определяется в параграфе 2.4, $K_2 = 2,56$);

M - коэффициент перехода от математического ожидания глубины колеи к ее максимальному значению в данной точке, с вероятностью 95%



$$a = -4,3 + 28,44 \cdot \frac{\bar{\tau}_{акт.}}{\tau_0} + 0,76 \cdot \bar{B}; \quad b = 0,20 + 0,13 \cdot \bar{B};$$

где $\bar{\tau}_{акт.}$ - математическое ожидание величины активных касательных напряжений возникающих в рабочем слое грунта земляного полотна, МПа;

$\bar{B}$ - математическое ожидание коэффициента консистенции глинистого грунта, в долях единицы;

$$\tau_0 = 1 \text{ МПа}; \quad t_0 = 1 \text{ с};$$

$$t(x) = N_{сум.} \cdot t_1 \cdot P(x),$$

где $t(x)$ - функция суммарного времени действия активных касательных напряжений от подвижной нагрузки и собственного веса дорожной одежды в данной точке поперечного профиля, с;

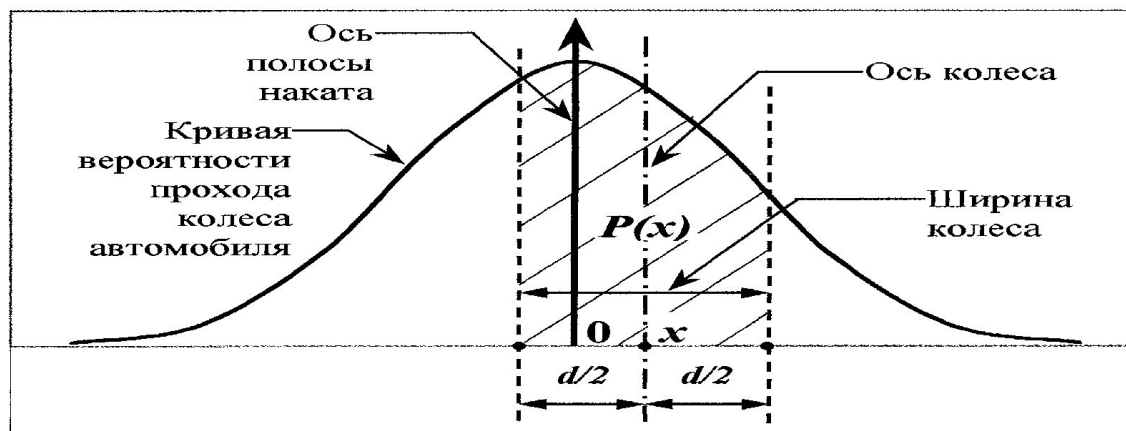
$N_{сум.}$ - суммарное количество проходов автомобилей по полосе движения, приведенных расчетной нагрузке, за срок службы дорожной одежды, с учетом изменения интенсивности движения по годам;

t_1 - расчетное время действия единичной расчетной нагрузки, $t_1 = 0,1$ с;

$P(x)$ - функция, учитывающая вероятность прохода колеса расчетного автомобиля через данную точку поперечного профиля полосы движения.



Данная функция позволяет учесть влияние ширины покрышек колес расчетного автомобиля и плотность распределения проходов автомобилей по ширине полосы движения.



$$P(x) = \Phi \frac{x + \frac{d}{2}}{\sigma} - \Phi \frac{x - \frac{d}{2}}{\sigma}$$

где x - расстояние от оси полосы наката, до расчетной точки, м;

d - колеса расчетного грузового автомобиля, м;

σ - среднеквадратическое отклонение расстояния от оси полосы наката до центра отпечатка колеса грузового автомобиля, м;

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{x^2}{2}} dx$$

- табулированная функция Лапласа (нечетная)



Глава 3. Физическая сущность процесса колееобразования и накопления неравномерных остаточных деформаций в грунте

Формы колеиности на поперечном
профиле полосы движения:

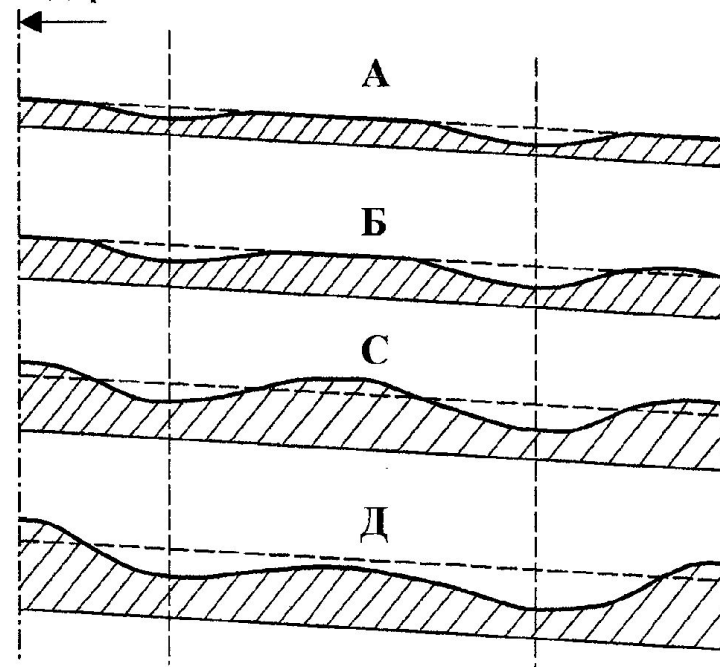
А - углубления по полосам наката;

Б - углубления по полосам наката с
одним гребнем или валом выпирания;

В - углубления по полосам наката с
двумя или тремя гребнями выпирания;

Д - углубления по полосам наката с
общим проседанием поверхности
проезжей части

ось дороги
←





Возникновение накопленной остаточной деформации обуславливается наличие следующих факторов:

- неоднородность условий воздействия нагрузки от движущихся автомобилей, включая повышенные удельные давления от колеса на дорогу, а также увеличение нагрузок от колебания кузова на неровностях;
- неоднородность толщины дорожной одежды вследствие допустимых, а в ряде случаев сверх допустимых отклонений;
- неоднородность прочности дорожной одежды вследствие деструктивного воздействия нагрузок и природных факторов;
- изменчивость во времени и в пространстве водно-теплого режима земляного полотна особенно его влажности, а также ежегодное промерзание и оттаивание грунта.



Оценка прочности, толщины дорожной одежды и вида грунта земляного полотна накоплении остаточных деформаций

В слоях дорожной одежды накапливается от 20 до 40% от общей остаточной деформации дорожной конструкции. Как известно, неравномерные остаточные деформации, приходящиеся на долю дорожной одежды, накапливаются в основном в несвязных слоях.

Каменный материал во всех видах дорожных конструкций подвергается совместному воздействию транспорта, в виде периодически прилагаемой нагрузки, при одновременных ослабляющих воздействиях воды, отрицательной температуры и других природных факторов. С течением времени каменный материал разрушается, происходит постепенное его измельчение до такого состояния, при котором дорожная одежда теряет свою первоначальную прочность и жесткость (снижается модуль упругости) начинают преобладать пластические деформации. Степень и интенсивность измельчения каменного материала в дорожной одежде, зависит в первую очередь от качества каменного материала - прочностных свойств, морозостойкости, вида и структуры исходной горной породы, крупности зерен и зернового состава и других особенностей материала, влияющих на степень его измельчения в процессе эксплуатации



Экспериментальные исследования процесса колееобразования. Исследования распределения расстояния от центра отпечатка колеса грузового автомобиля до оси полосы наката

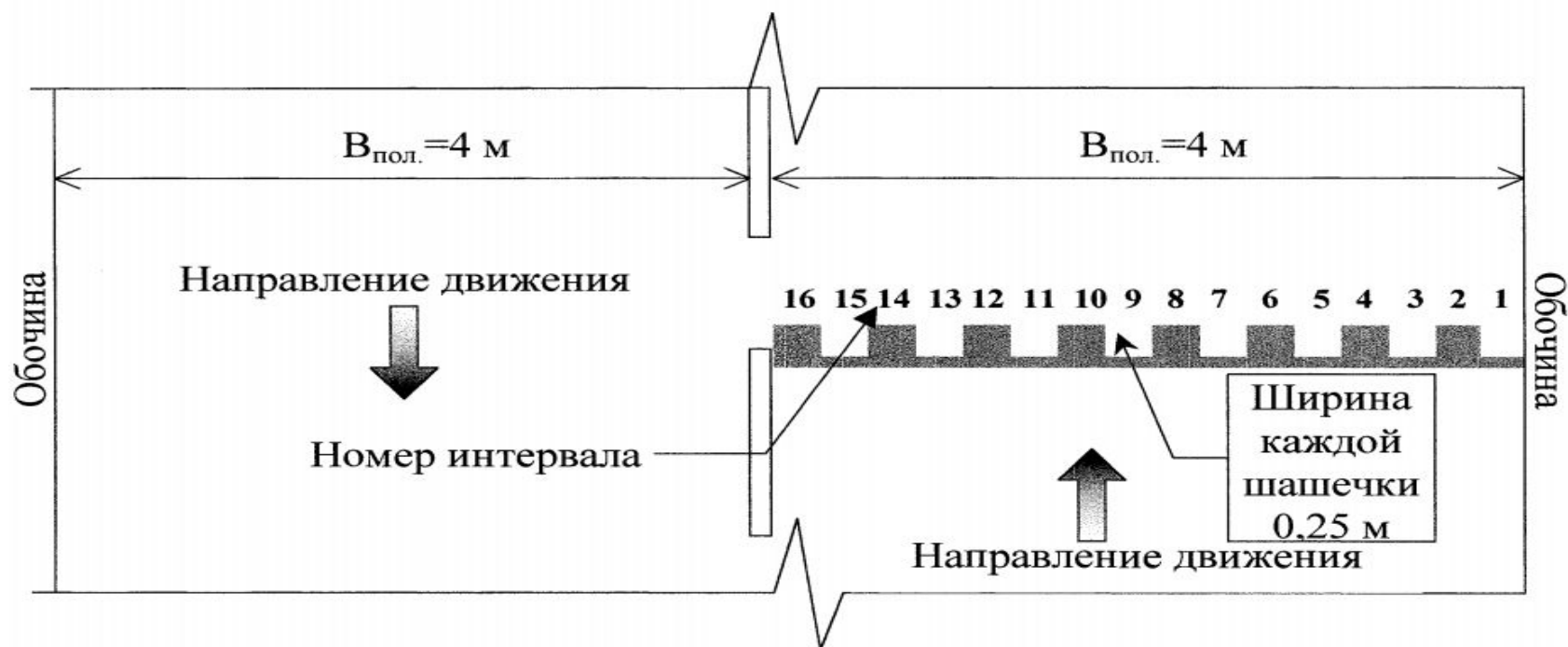
Для того, чтобы определить величину среднеквадратичного отклонения величин расстояния от центра отпечатка колеса до оси полосы наката, был поставлен эксперимент. Для проведения эксперимента была выбрана дорога Зилим-Караново – Зириково – Бурлы I технической категории в Гафурийском районе. Суточная приведенная интенсивность движения на данном участке составляла примерно 600 автомобилей. Ширина проезжей части равна 7 м, а ширина полосы движения соответственно 3,5 м. Во время проведения эксперимента покрытие находилось в чистом хорошем состоянии, без выбоин и трещин. На покрытии присутствовала дорожная разметка. Обочины укреплены щебнем. Участок находился на прямой вставке, с незначительным уклоном. Наблюдение производилось в хорошую погоду и в дневное время суток.





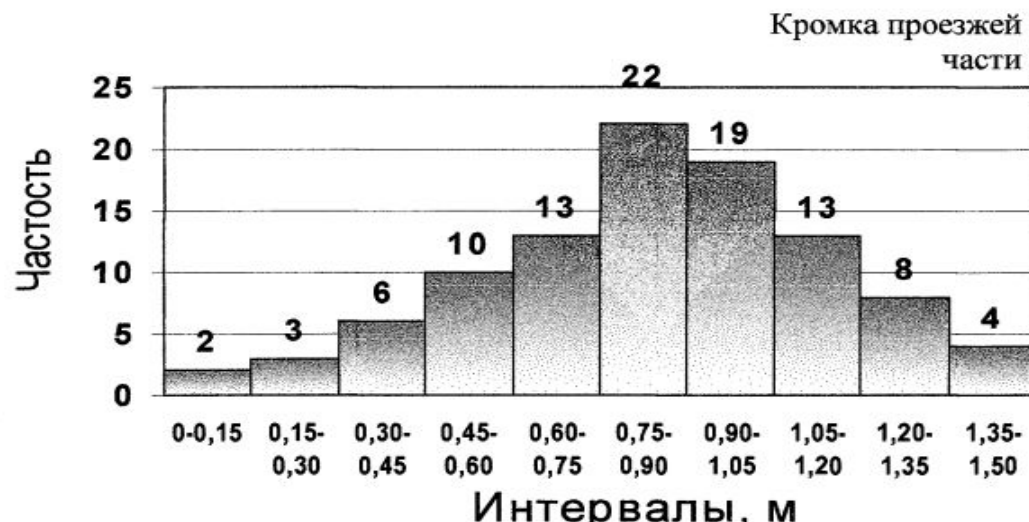
На выбранном участке дороги, поперек полосы движения, быстросохнущей краской была нанесена специальная разметка в виде шашечек. К каждой шашечке был подписан свой порядковый номер. Нумерация производилась от обочины к центру проезжей части. Ширина и длина у всех шашечек была одинаковая и равнялась 0,25 м, то есть на полосе движения уместилось ровно 16 штук (по 4 штуке на 1 м).





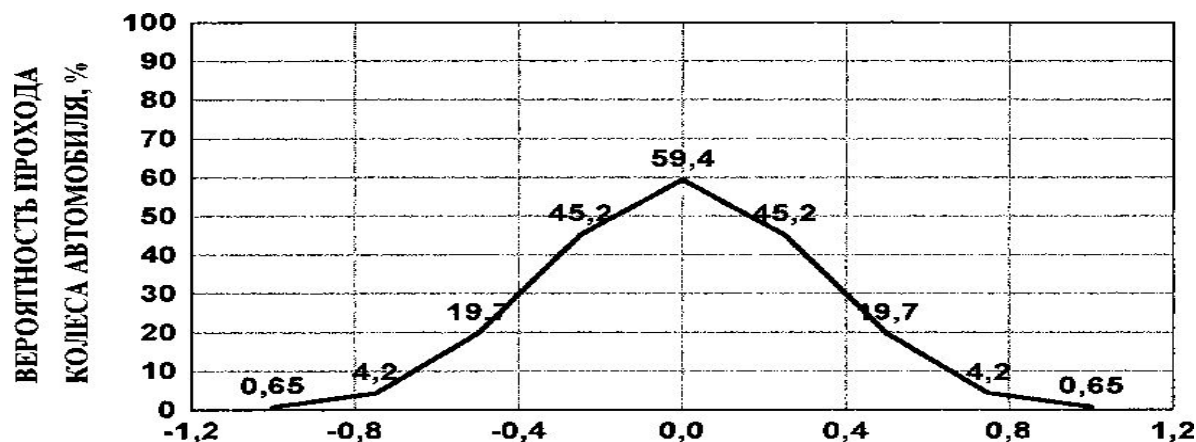


Гистограммы частоты по левой и правой полосе наката:





Данные распределения были проверены с помощью критерия согласия хи-квадрат Пирсона на их соответствие теоретическому (нормальному) распределению. Оказалось, что при числе степеней свободы, равном 9, и хи-квадрат, равном 2,74 для распределения по левой полосе наката и 3,01 для распределения по правой, вероятность соответствия данных эмпирических распределений выбранному нормальному распределению составляет соответственно 0,971 и 0,964. То есть, с уверенностью можно сказать, что распределение числа проходов по ширине полосы наката соответствует нормальному закону.





Глава 4. Рекомендации по расчету и ограничению глубины колеи. Методика расчета при прогнозировании глубины колеи

Расчет дорожных одежд, который обеспечивает необходимые потребительские качества связан с обоснованием такой конструкции, в которой под воздействием движущегося транспорта в соответствующих дорожно-климатических условиях накопление остаточных деформаций было бы ограничено допустимой величиной, связанной с допустимой ровностью.



Предлагаемая последовательность расчета:

1. Расчет дорожной одежды нежесткого типа по методике действующей инструкции ОД 218.046-01.
2. Расчет максимальной глубины колеи по формуле, для точки находящейся на оси полосы наката.
3. Сопоставление полученной величины накопленной остаточной деформации допустимой по предлагаемым нормам.
4. Исходя из результата сопоставления по пункту 3, при необходимости, производится перерасчет дорожной конструкции, с применением предлагаемых мероприятий по снижению скорости развития процесса колееобразования, с тем, чтобы расчетное значение накопленной деформации было меньше или равно допустимому значению.



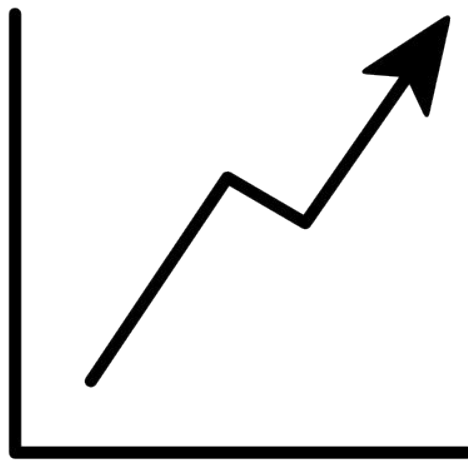
Глава 5. Оценка экономического эффекта от применения результатов исследования

Транспортно-эксплуатационное состояние автомобильной дороги в значительной мере зависит от качества дорожной одежды, в особенности от ее ровности. Обеспеченная ровность является одним из основных показателей, определяющих фактический срок службы дорожной одежды. Данные обследований состояния автомобильных дорог, выполненных в разных странах, показывают, что образование колеи недопустимо. По оценкам, до 35% от всех причин снижения транспортно-эксплуатационного состояния дорог высоких классов.





В зависимости от изменения ровности дорожной одежды и глубины колеи изменяется скорость движения автомобиля, определяющая эффективность работы автомобиля. Исследованиями этого вопроса занимались многие ученые и получен ряд эмпирических теоретических зависимостей скорости движения одиночного автомобиля и транспортного потока от показателя ровности проезжей части.

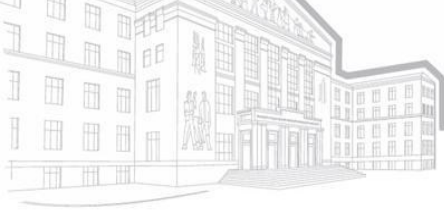




На основе анализа полученных данных расчета следует, что лучшая ровность наибольший экономический эффект достигается:

- 1) при замене одного из конструктивных слоев дорожной одежды цементобетонным слоем.
- 2) при замене грунта земляного полотна;
- 3) при устройстве основания или морозозащитных слоев на границе раздела с грунтом земляного полотна из укрепленных материалов и грунтов на основе суглинка и зологрунта (снижение средней влажности на 0,08 WL);

Однако полученные цифры говорят, что не все мероприятия позволяют полностью решить проблему снижения математического ожидания глубины колеи до требований предложенных в данной главе. Значит, в таких случаях требуется проводить капитальный ремонт покрытия или устраивать выравнивающий слой.



Выводы

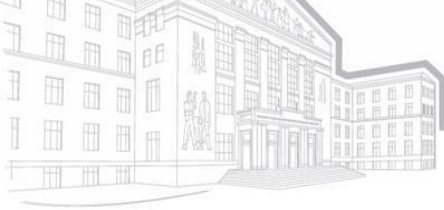
1. Рассмотрено влияние распределения проходов автомобилей по ширине полосы движения на развитие остаточных деформаций. Проанализированы существующие модели определения величины остаточных деформаций нежесткой дорожной одежды и земляного полотна.

2. С помощью зависимости предложенной С.Ю. Каныгиной, была разработана модель позволяющая определять глубину колеи в различных точках поперечного профиля дорожного покрытия, с учетом распределения числа проходов автомобилей по ширине полосы движения.

Главной причиной возникновения и накопления остаточных деформаций в грунте, а затем и в одежде в целом является то, что напряжения от временных нагрузок в отдельных конструктивных слоях и в грунте, в период, когда условия увлажнения складываются наиболее неблагоприятно, превышают допустимые напряжения по сдвигу.

3. Проведенное исследование по наблюдению на дороге за положением траектории колёс, подтвердило, что закон распределения положений центров отпечатков колёс по ширине полосы движения близок к нормальному закону распределения.

Численно определен параметр нормального закона распределения -среднеквадратичное отклонение величин расстояния от центра отпечатка колеса грузового автомобиля до оси полосы наката ($\sigma=0,3$). Величина среднеквадратичного отклонения характеризует агрессивность воздействия подвижной нагрузки, выраженную суммарным временем действия нагрузки в любой точке профиля полосы движения



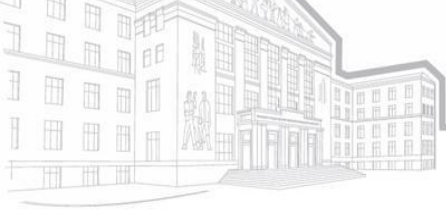
С учетом ширины покрышек задних колес грузового автомобиля уточнен коэффициент поперечной установки $K_{пу}=0,59$. Этот коэффициент необходим, при расчете суммарного движения по данной полосе за срок, на конец которого прогнозируется глубина колеи. Он характеризует вероятность прохождения колеса автомобиля по оси полосы наката

4. Наиболее эффективными способами для обеспечения требуемого транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог по ровности и глубине колеи являются:

- замена грунта земляного полотна;
- устройство основания или морозозащитных слоев на границе раздела с грунтом земляного полотна и укрепленных материалов и грунтов на основе суглинка и зологрунтов;
- замена одного из слоев конструкции дорожной одежды цементобетонным слоем;

Главное значение для обеспечения устойчивости дороги к развитию процесса колееобразования является правильный выбор типа грунта земляного полотна и поддержание его влажности на расчетном уровне.

Замену грунта нужно выполнять на всю глубину промерзания для обеспечения защиты конструкции от морозного пучения и с точки зрения защиты от накопления остаточных деформаций и образования колеи.



Спасибо за
внимание!