

Лекция 8

Общие понятия о деформации и разрушения автомобильных дорог

План

- 1 Процесс деформирования дорожной конструкции под воздействием автомобилей и природных факторов
- 2 Напряженно-деформированное состояние дорожных конструкций, процесс их разрушения.
- 3 Деформации и разрушения земляного полотна и водоотводных сооружений
- 4 Деформации и разрушения дорожных одежд и покрытий
- 5 Износ покрытий и его причины

1 Процесс деформирования дорожной конструкции под воздействием автомобилей и природных факторов

Под деформацией понимают изменение размеров или формы тела без уменьшения его массы и потери сплошности, разрушение – изменение размеров и формы тела с изменением (уменьшением) его массы или с потерей сплошности. Под воздействием многократно повторяющихся нагрузок от автомобилей и природных факторов в дорожной конструкции возникают напряжения и деформации, которые накапливаясь, могут привести к разрушению дорожной одежды.

На правильно спроектированной, построенной и эксплуатируемой дороге не должно быть разрушений, кроме износа покрытий. Но могут возникать деформации в допустимых пределах под влиянием эксплуатационных и природно-климатических факторов, проектных и строительных недостатков.

Главная причина деформаций и разрушений автомобильной дороги – это их воздействие на дорожную одежду. При движении по горизонтальному участку с ровной поверхностью колеса автомобилей передают на дорожную конструкцию вертикальные (нормальные) и горизонтальные (касательные) усилия. При ровном покрытии дорожные одежды испытывают давление колес как кратковременную статическую нагрузку. Продолжительность ее действия колеблется от 0,01 – 0,5с в зависимости от скорости. При высокой интенсивности и скорости движения нагрузки могут повторяться через каждые 1,5-6сек.

На неровной поверхности давление колес на покрытие то возрастает по сравнению со статическим, то убывает. Отношение напряжения (деформации), вызванного динамическим действием нагрузки, к напряжению, вызванному статическим действием той же нагрузки, называют коэффициентом динамичности нагрузки. При движении по ровному покрытию коэффициент динамичности не выходит за пределы 1,15. На неровной проезжей части с повышением скорости до 80км/час этот коэффициент возрастает до 3,0. При дальнейшем увеличении скорости коэффициент динамичности остается постоянным. Характер нагружения дорожной одежды зависит от интервалов действия нагрузки. Особенно большое влияние оказывает на коэффициент динамичности доля тяжелых автомобилей. Установлено, что проезд одного автомобиля МАЗ-500А с осевой нагрузкой 100кН равноценен 5,2 проезда автомобиля ЗИЛ-130 с осевой нагрузкой 70кН.

2 Напряженно-деформированное состояние дорожных конструкций, процесс их разрушения.

Под нагрузкой от колес автомобиля дорожная одежда прогибается, затем постепенно восстанавливается. Прогиб от колеса тяжелого грузового автомобиля распространяется во все стороны, образуя чашу прогиба радиусом до 3-4м, которая перемещается по ходу движения автомобиля. Чаши прогиба частично перекрывают друг друга, охватывая всю ширину полосы движения. При этом в слоях одежды возникают напряжения сжатия, растяжения, изгиба и сдвига. Чрезмерные напряжения от нагрузок приводят к возникновению деформаций. Слои дорожной одежды имеют структуру контактного, коагуляционного или кристаллизационного типов.

При структуре контактного типа, характерным для слоев щебня, гравия и песка, минеральные частицы взаимодействуют непосредственно. Такие слои не обладают связностью и практически не проявляют вязких свойств. При структуре коагуляционного типа минеральные частицы покрыты пленками воды или органического вяжущего. К таким материалам относят грунты, связные и укрепленные органическим вяжущим, битумо-минеральные смеси и асфальтобетон. Материалы, обработанные органическими вяжущими, отличаются повышенной связностью и под действием нагрузки проявляются как упругие, так и вязкие свойства. Кристаллизационный тип характерен для цементобетонных, каменных материалов и грунтов, укрепленных цементом и другим минеральным вяжущим. Связь между частицами материала осуществляется через спайки, образованные кристаллами вяжущего. Для таких материалов характерна повышенная жесткость и прочность, упругие свойства выражены достаточно четко. Для слоев одежды из монолитных материалов наиболее опасны растягивающие напряжения, возникающие в слое при изгибе, а для слоев из слабосвязных материалов (зернистых) – напряжения сдвига (касательные).

При старении материала типа асфальтобетона под действием воды и кислорода выявляются три стадии (рис.5.2). На первой стадии длительное время нарастает прочность, водостойчивость, уменьшаются деформативные свойства материала. Это происходит за счет уменьшения количества масел, увеличения смол, особенно асфальтенов, повышения вязкости и когезии битума в результате взаимодействия битума с минеральным материалом. На второй стадии старения снижаются водо- и морозостойчивость битумо-минерального материала без заметного изменения его прочности. Третья стадия сопровождается резким снижением прочности материала, повышением его водонасыщенности, набухания и уменьшением водо- и морозостойчивости. Это приводит к коррозии покрытия, усиленному выкрашиванию минеральных частиц и образованию выбоин и разрушений. При одном прогибе дорожной одежды эти изменения могут быть бесконечно малыми. Однако за период службы одежды число прогибов измеряется миллионами, поэтому остаточные деформации возрастают. Механизм усталостного разрушения состоит в следующем. Хотя максимальные растягивающие напряжения при проходе одного автомобиля значительно меньше критических, из-за неоднородности материала локальные напряжения могут существенно отклоняться от среднего значения. В местах, где они превышают предел упругости пленок битума, связи рвутся. В результате через определенное число циклов приложения нагрузки в

нижней части покрытия по полосам наката появляются продольные тонкие трещины, объединяющиеся затем в большие, которые растут одновременно в двух направлениях: вверх и по длине. При дальнейших нагружениях трещина проходит сквозь покрытие и становится видимой на поверхности.

Разрушение асфальтобетона зависит от скорости нагружения и температуры и может носить как хрупкий, так и вязкий характер. Критическим периодом работы покрытия является весенний, когда в результате снижения прочности грунта земляного полотна прогиб дорожной одежды максимальный, а температура покрытия часто колеблется от 0 до +10 градусов С.

3 Деформации и разрушения земляного полотна и водоотводных сооружений

Для земляного полотна типичны осадки, просадки, пучины и деформации обочин, расползание насыпей, сползание и размывы откосов, выдувание обочин и откосов из несвязных и слабосвязных грунтов. Осадки возникают вследствие недостаточного уплотнения или переувлажнения грунтов, особенно часто в местах повышенного увлажнения, при применении недоброкачественных грунтов для высоких насыпей. Просадка насыпей образуются на участках со слабыми подстилающими грунтами – на болотах, просадочных грунтах, карстах и т.д. Сползание происходит на косогорных участках из-за недостаточного сопротивления сдвигу основания насыпей или на оползневых участках. Причинами этих деформаций являются недоброкачественная подготовка основания (отсутствие уступов, недостаточное уплотнение), наличие в основании слабопрочных грунтов, повышенное увлажнение и недоуплотнение нижних слоев насыпи. Оползание откосов наблюдается при применении слабых грунтов, их переувлажнении и недоуплотнении. Кроме того, сползание может быть из-за, превышения норм крутизны откосов, присыпки земляного полотна при уширении без устройства уступов или с недостаточным уплотнением. Размывание и выдувание обочин и откосов происходит вследствие водной и ветровой эрозии, когда земляное полотно возведено из несвязных или слабосвязных грунтов при недостаточном эффективном укреплении откосов и обочин. Деформации и разрушения водоотводных сооружений различны по характеру и причинам возникновения. Грунтовые каналы и лотки подвергаются размыву в первую очередь в местах больших продольных уклонов, заиливаются и зарастают при малых уклонах. Канавы и лотки, укрепленные плитами, каменными и другими материалами, могут размываться водой в местах стыков плит, разрушений укрепляющих устройств. Дренажные и подземные водосточные трубы засоряются грунтом и случайно попавшими предметами (соломой, травой, корягами), из-за чего прекращается их работа. Раковины и выщелачивание – разрушение материала конструкции вследствие выветривания наружных слоев бетона под действием грунтовой и поверхностной воды, частично растворяющих и вымывающих вяжущие. Вымывание грунта из насыпи происходит при нарушении изоляции стыков между звеньями. В образовавшиеся щели вода выносит грунт, образуя пустоты за трубой. Трещины в бетоне и сдвиги звеньев возникают при неравномерном, иногда одностороннем давлении грунта на трубу. Деформации оголовков могут быть вызваны неравномерной осадкой фундаментов оголовков и звеньев, их подмывом, увеличением горизонтального давления на оголовки

при переувлажнении грунта насыпи и сползании откосов. Просадки – вертикальные неравномерные смещения звеньев вследствие неодинакового давления насыпи по длине трубы (большее давление на средние звенья). Этому обстоятельству способствует применение при возведении насыпи слабопрочных грунтов (торфяных, илистых) и вымывание грунта в основании звеньев.

4 Деформации и разрушения дорожных одежд и покрытий

Деформации и разрушения могут быть покрытий и всей дорожной одежды в целом. К первым относят износ, шелушение, выкрашивание, выбоины, сдвиги, волны, гребенки и трещины покрытия. Ко вторым – пучины, просадки, проломы колеи и разрушения кромок дорожных одежд. Шелушение – отделение чешуек и частиц материала и разрушение поверхности покрытия под действием колес автомобилей, воды и отрицательной температуры воздуха с образованием микронеровностей глубиной до 5мм.

Выкрашивание – отделение зерен минерального материала из покрытия и образование мелких раковин глубиной от нескольких миллиметров до 20см. Постепенно развиваясь, выкрашивание распространяется на значительную площадь и является признаком начала поверхностного разрушения покрытия.

Выбоины – местные разрушения покрытия глубиной от 20 до 100мм и более с резко очерченными краями. Они возникают прежде всего из-за недостаточной связи между минеральными и органическими материалами, недоуплотнения покрытия, загрязнения, использования недоброкачественных материалов (пережог асфальтобетонной смеси, попадание необработанного щебня или песка в смесь). Особенно процесс образования выбоин развивается в весенний период, чему способствует чередование положительных и отрицательных температур воздуха и покрытия, наличие воды в порах покрытия. Проникая в раковины и микротрещины покрытия, вода оказывает расклинивающее воздействие, которое значительно увеличивается при ее замерзании. Связи между частицами материала ослабляются, и под влиянием колес автомобиля образуется выбоина, которая затем быстро увеличивается. Наезжая на выбоину, колесо получает толчок, что приводит к повторному динамическому удару на некотором расстоянии за выбоиной (рис.5.6). При многократном повторении этой нагрузки образуется следующая раковина или трещина, которые затем сливаются в одну большую выбоину.

Сдвиги – неровности, вызванные смещением материала покрытия при устойчивом основании; чаще всего образуется в местах торможения автомобиле (остановки, перекрестки). Под действием касательных сил происходит сдвиг верхнего слоя либо его сдвиг по поверхности нижнего слоя с образованием поперечных трещин на полосах наката. Этому способствует повышенная пластичность верхнего слоя (избыток вяжущего или недостаточная теплоустойчивость при высокой температуре). Смещаемый колесом поверхностный слой образует складки и наплывы.

Волны и гребенки – неровности в виде поперечных гребней и впадин с пологими краями. Закономерно чередуясь вдоль покрытия, они формируются, как и сдвиги, в местах торможения автомобилей практически всех типов покрытий, кроме цементобетонных. Основная причина волнообразования – излишняя пластичность материала, избыток вяжущего или низкая теплоустойчивость смеси, недостатки уплотнения. На покрытиях переходного

типа, преимущественно гравийных, поперечные волны образуют гребенку – правильные четко выраженные поперечные выступы, чередующиеся углублениями. Трещины на покрытиях бывают различных размеров и формы (рис.5.7). На асфальтобетонных и других покрытиях, построенных с применением органического вяжущего, трещины могут быть одинаково поперечные, продольные, косые и в виде сетки. Трещины поперечные сквозные на всю ширину покрытия (температурные) возникают осенью и в начале зимы вследствие резких перепадов температуры воздуха и недостаточной сопротивляемости температурным напряжениям. Они располагаются по проезжей части на определенном расстоянии друг от друга (5-10м). Продольные трещины, расположенные через 20-40см друг от друга на полосах наката, в сочетании с поперечными трещинами, через 1-4м на всю ширину проезжей, часто бывают на покрытиях, содержащих органическое вяжущее. Эти покрытия построены на непрочных основаниях из грунтов или каменных материалов, укрепленные минеральными вяжущими (цемент, известь, золы уноса). Продольные трещины на асфальтобетонных покрытиях часто появляются на стыке двух полос укладки покрытия при плохом сопряжении. Сетка трещин с мелкими ячейками на полосах наката размером сторон 10-20см бывает на покрытии при недостаточной прочности основания. Главная причина большинства трещин – усталость дорожных одежд, их недостаточная прочность. Разрушение стыков – обламывание кромок и выбивание заполняющей мастики. Основными причинами являются удары колес автомобилей, недоброкачественная цементобетонная смесь, неудовлетворительная нарезка и отделка швов. Просадки – впадины глубиной 50-100мм и более с полой поверхностью, но без выпучивания и образования трещин на прилегающих участках. Они возникают в местах пониженной прочности слоев одежды и грунта при увлажнении. Просадки могут в первые годы эксплуатации дороги при неблагоприятных грунто-гидрогеологических условиях, вследствие недостаточного уплотнения грунта земляного полотна и слоев одежды, а также при проезде тяжелых автомобилей. Проломы – разрушения одежды в виде более или менее длинных прорезей глубиной до 100мм по полосам наката и выпучиваний сбоку проломов высотой 50-100мм. Мокрые проломы образуются вследствие переувлажнения и пластического течения материала. Колеи – деформации и разрушения дорожной одежды в виде небольших углублений по полосам наката, при интенсивном движении тяжелых автомобилей колеи могут превратиться в проломы.

5 Износ покрытий и его причины

На износ покрытий наибольшее влияние оказывает движущиеся автомобили. Под нагрузкой шина деформируется, в зоне контакта с покрытием сжимается, а вне контакта растягивается. При прохождении шины по поверхности покрытия происходит одновременно качение и проскальзывание. Под воздействием усиленных касательных напряжений в плоскости следа истираются покрытие и шина. Износ покрытия от грузовых автомобилей примерно в 2 раза больше в сравнении с легковыми автомобилями. Чем больше прочность, тем меньше и равномернее износ покрытия по ширине. Средний износ по всей площади покрытия определяется по формуле

$$h_{\text{ср}} = Kh_n$$

где K - коэффициент неравномерности износа, в среднем $K = 0,6-0,7$; h_n - износ в полосе наката, мм.

Износ усовершенствованных покрытий измеряют в миллиметрах, а покрытий переходного типа также и по объему потери материала.

6 Особенности износа шероховатых покрытий

Их износ проявляется в уменьшении высоты и шлифовании неровностей макрошероховатости. Уменьшение макрошероховатости покрытий под действием колес автомобиля происходит в два этапа. На первом этапе сразу после окончания строительства шероховатость покрытия уменьшается за счет погружения щебня в нижележащий слой покрытия. Размер этого погружения зависит от интенсивности и состава движения, крупности щебня и твердости покрытия. Твердость покрытия определяют глубиной погружения иглы твердомера: асфальтобетонные покрытия могут быть очень твердые – 0-2мм; твердые – 2-5мм; нормальные – 5-8мм; мягкие – 8-12мм; очень мягкие – 12-18мм. Цементобетонные покрытия обладают абсолютной твердостью. По данным к.т.н. М.В. Немчинова общее уменьшение макрошероховатости может быть описано уравнением:

$$R = ae^{-bM} + c,$$

где M – число прошедших автомобилей; a , b , c – коэффициенты, зависящие от размера щебня, твердости покрытия, состава транспортного потока.

7 Определение износа покрытий расчетом

Среднее значение уменьшения толщины покрытий в год вследствие износа можно определить по формуле проф. М.Б. Корсунского

$$h = a + bB,$$

или $h = a + bN / 1000$, (6.3)

где a - параметр, зависящий в основном от погодоустойчивости покрытия и климатических условий; b - показатель, зависящий от качества (в основном от прочности) материала покрытия; B - грузонапряженность движения, млн. т. брутто в год; N - интенсивность движения, авт/сут ($N = 0,001 B$).

Износ покрытия за T лет с учетом изменения состава и интенсивности потока в перспективе по геометрической прогрессии

$$h = aT + \frac{bN_1 [(Kq_1)^T - 1]}{1000(Kq_1 - 1)},$$

где N_1 - интенсивность движения в исходном году, авт.сут; K - коэффициент, учитывающий изменение состава потока, $K = 1,05-1,07$; q_1 - показатель ежегодного роста интенсивности движения, $q_1 > 1,0$.

В последние годы для повышения устойчивости движения автомобилей стали применять шины с шипами и цепями. Асфальтобетонные покрытия при эксплуатации с цепями и шипами изнашиваются в 2-3 раза быстрее. На автомобильных дорогах ФРГ, на покрытиях из высокопрочного литого

асфальтобетона, где используются шины с шипами, через одну-две зимы образуются колеи по полосам наката глубиной до 10мм. Поэтому использование шин с шипами на дорогах общего пользования должно быть ограничено. В качестве критерия предельного состояния покрытия по износу

можно принять размер допустимого износа H_{\max} для покрытий: асфальтобетонных –10-20мм; щебеночных (гравийных), обработанных органическими вяжущими – 30-40мм; щебеночных из прочного щебня – 40-50мм; гравийных- 50-60мм. Ежегодный износ цемента-, асфальтобетонных и других монолитных покрытий измеряют при помощи реперов, закладываемых в толщу покрытия, и износомера. При этом способе измерения износа в покрытие предварительно закладывают реперы-стаканчики из латуни. Дно стакана служит поверхностью, от которой выполняют отчет. Износ измеряют также с помощью пластин (мерок) трапецеидальной формы из известняка или мягкого металла, заделываемых в покрытие и истирающихся совместно с ним. Для определения износа покрытия можно использовать различного рода электрические приборы для измерения толщины слоев в слоистых пространствах. Например, в ФРГ используют прибор стратотест, основанный на отражении электромагнитных волн. Подобный прибор был разработан в свое время в Ленинградском филиале СоюздорНИИ.¹

<h3>Истирание (износ) покрытия</h3> <p>Усиленное и чаще всего неравномерное истирание наблюдается: на участках торможения автомобилей, на спусках, перед кривыми, в населенных пунктах, перед перекрестками и на участках с интенсивным тяжелым движением</p> 	<h3>Выкрашивание, шелушение</h3> <p>Поверхностное и послойное разрушение покрытия и отслаивание вяжущего от минерального материала. Наблюдается на покрытиях, содержащих вяжущее материалы.</p> 
<h3>Выбоины</h3> <p>Местные разрушения покрытия, имеющие вид углубления с резко очерченными краями. Наблюдаются на всех видах покрытий.</p> 	<h3>Волны</h3> <p>Закономерное чередование (через 0.4-2.0 м) на покрытии гребней и впадин вдоль дороги. Наблюдаются на покрытиях, содержащих органическое вяжущее, а также на гравийных покрытиях, не обработанных вяжущим, - чаще всего в местах остановок транспортных средств, вблизи пересечений в одном уровне, на крутых спусках.</p> 
<h3>Сдвиги</h3> <p>Смещения покрытия по основанию, сопровождающиеся часто наливом слоя по слою. Наблюдаются на покрытиях, содержащих органическое вяжущее, на крутых спусках, в местах остановок и торможения автомобилей</p> 	<h3>Трещины на покрытии</h3> 

¹ http://lib.kstu.kz:8300/tb/books/@Ekspluatatsiya_avtomobil@mn@ih_dorog/teory/lec6.htm

Трещины на цементобетонных покрытиях



Просадки

Резкие искажения профиля покрытия, имеющие вид впадин с округлой поверхностью. На покрытиях, содержащих органическое вяжущее, нередко сопровождаются сеткой трещин.



Колейность

Плавное искажение поперечного профиля покрытия на полосах наката. Наблюдается на всех типах покрытия



Пролом

Полное разрушение дорожной одежды с резким искажением поперечного профиля. Наблюдается на всех типах покрытий.



Контрольные вопросы

1. Виды деформации и разрушения
2. Причины деформации и разрушения
3. Виды износа
4. Особенности износа

Литература

Список литературы

1. Автомобильные дороги. Строительство, ремонт, эксплуатация / Л.Г. Основина и др. - М.: Феникс, 2015. - 496 с.
- 2.
3. Постатейный комментарий к Федеральному Закону от 8 ноября 2007 г. № 257-ФЗ "Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты" / Н.К. Науменков. - М.: Деловой двор, 2018. - 448 с.
4. Постатейный комментарий к Федеральному закону в новой редакции "Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности". - Москва: РГГУ, 2015. - 608 с.
4. Рассел, Джесси Классификация автомобильных дорог в России / Джесси Рассел. - М.: VSD, 2016. - 945 с.

5. Садило, М. В. Автомобильные дороги. Строительство и эксплуатация / М.В. Садило, Р.М. Садило. - М.: Феникс, 2018. - 368 с.
6. Васильев А.П., Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения : учебник для вузов / под ред. А.П. Васильева. М. : Транспорт, 1990. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог : учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Ч. 1. М. : Транспорт, 1987.
7. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения / под ред. И.И. Леоновича. Минск : Вышэйш. шк., 1988.