

Лекция 7

РОЛЬ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ В ЕЕ ДЕФОРМАЦИИ

План

1. Дорожная одежда;
2. Материалы дорожных одежд.
3. Типы структур материалов слоев дорожных одежд
4. Механизм усталостного разрушения
5. Причины образования ямочности и выбоин

Дорожная одежда

Дорожная одежда - это совокупность конструктивных слоёв дорожного покрытия, выполненных из различных материалов. Дорожная одежда укладывают на подготовленное земляное полотно, обычно на ширину проезжей части.

Основное назначение дорожной одежды - воспринимать нагрузку от проходящих автомобилей и передавать ее на земляное полотно в рассредоточенном виде и в размере, не превосходящем той допустимой величины, которую может оказывать грунт земляного полотна, подвергаясь давлению. Нагрузки, приходящиеся на каждое колесо автомобиля, обычно настолько велики, а сопротивление грунта настолько незначительно, что площадь восприятия земляным полотном нагрузки от колеса автомобиля нормально должна была бы выражаться в сотнях квадратных сантиметров. Фактически след колеса автомобиля на поверхности дороги (в месте соприкосновения пневматической шины с поверхностью проезжей части) составляет всего несколько десятков квадратных сантиметров. Отсюда видно, что задача дорожной одежды состоит в том, чтобы увеличить площадь

сопротивления нагрузке во много раз (рисунок 1).

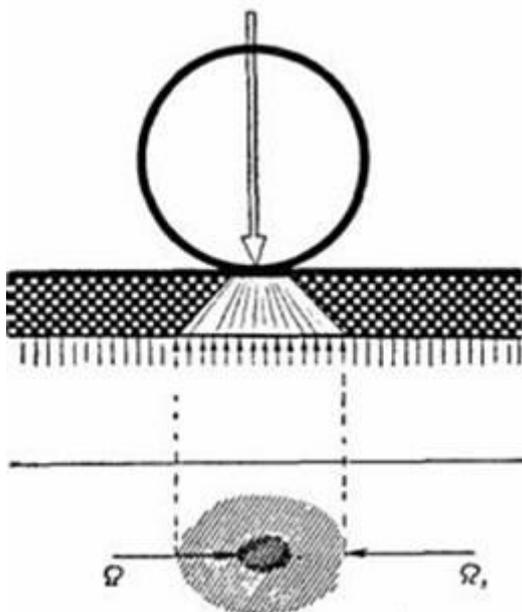


Рисунок 1 – Воздействие автомобильного колеса на одежду дороги

В противном случае временное сопротивление грунта будет превышено и сделается неизбежным появление повреждений дорожного полотна, образование на поверхности дороги рытвин и колеи.

Дорожная одежда (рисунок 2), как правило, состоит из покрытия, основания и дополнительных слоев основания. Дорожную одежду считают прочной, если под действием многократно повторяющихся нагрузок от движущегося транспорта она сохраняет в течение заданного срока службы сплошную и достаточно ровную поверхность покрытия.

КОНСТРУКТИВНЫЕ СЛОИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

	ДОРОЖНАЯ ОДЕЖДА	ПОКРЫТИЕ	СЛОЙ ИЗНОСА	ДОРОЖНАЯ КОНСТРУКЦИЯ
			ОСНОВНОЙ СЛОЙ ПОКРЫТИЯ	
		ОСНОВАНИЕ	ВЕРХНИЙ СЛОЙ ОСНОВАНИЯ	
			НИЖНИЙ СЛОЙ ОСНОВАНИЯ	
			ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ СЛОЙ ОСНОВАНИЯ	
	ГРУНТ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА			

Рисунок 2 – Конструктивные слои дорожных одежд

Покрытие — верхний слой дорожной одежды, который может состоять из слоя износа, периодически возобновляемого по мере его истирания, и основного слоя, определяющего эксплуатационные свойства покрытия. Оно должно быть наиболее прочным, износо- и термостойким, водонепроницаемым, ровным и шероховатым.

Для снижения расхода дорожно-строительных материалов применяют покрытия, состоящие из двух слоев. Нижний слой непосредственно не подвергается воздействию колес автомобилей, строят из менее прочных материалов, чем верхний слой.

Основание — несущая часть дорожной одежды, обеспечивающая совместно с покрытием передачу нагрузок на грунт земляного полотна. Основание, как правило, состоит из двух или более прочных слоев, из которых верхние часто укреплены вяжущим с целью создания достаточно прочного слоя под покрытием. Для нижних слоев можно применять менее прочные и менее морозостойкие материалы, но при этом водостойчивые и неразмокаемые.

Дополнительный слой основания — нижний конструктивный слой дорожной одежды, выполняющий наряду с передачей нагрузок на земляное полотно также функции морозозащитные, дренирующие, выравнивающие и защиты от заиливания.

Дорожные одежды классифицируются по типам покрытия:

а) Капитальные:

- цементобетонные;
- асфальтобетонные из горячих плотных смесей I и II марок;
- асфальтобетонные из холодных смесей I марки;
- дегтебетонные из горячих плотных смесей I марки.

б) Облегченные:

- асфальтобетонные из горячих смесей III марки;
- асфальтобетонные из холодных смесей II марки;
- дегтебетонные из горячих и холодных смесей II марки;
- из каменных материалов, обработанных органическими вяжущими материалами (смешением в установке, на дороге, пропиткой);

- переходные с поверхностной обработкой.

в) Переходные:

- щебеночные;

- гравийные;

- булыжные из колотого камня;

- грунтовые, укрепленные вяжущими материалами,

г) Низшие:

- из малопрочных каменных материалов, шлаков;

- грунтовые, улучшенные различными местными материалами.

Дорожные одежды классифицируются по жесткости:

а) Жесткие дорожные одежды - железобетонные и бетонные покрытия и основания. Основным отличием жестких дорожных одежд от нежестких является повышенная прочность и износостойчивость первых, высокие характеристики сопротивляемости при возникновении нагрузок.

б) Нежесткие дорожные одежды определяют слои, устройство которых может быть реализовано из различного вида асфальтобетона, грунтов, материалов, укрепленных зернистыми материалами (гравий, щебень и др.), цементом, битумом и другими материалами.

Материалы дорожных одежд

Конструирование дорожной одежды заключается в выборе для нее наиболее подходящих материалов исходя из местных ресурсов и соображений организации работ. Это наиболее творческая часть проектирования, она должна базироваться на учете опыта службы различных типов дорожных одежд в равных климатических условиях с учетом в каждом конкретном случае местных грунтовых и гидрологических условий, влияющих на службу дорожных одежд. Климатические условия влияют на выбор типов дорожной одежды также в связи с ограничением продолжительности строительного сезона для производства работ с дорожно-строительными материалами, приготовленными на различных вяжущих.

Максимальное использование дешевых местных материалов – одно из основных требований при выборе конструкции дорожной одежды.

Уменьшение дальности возки дорожно-строительных материалов дает возможность существенно снизить стоимость всего строительства.

Расчет дорожной одежды – заключается в обосновании необходимой толщины и устойчивости как всей дорожной одежды в целом, так и отдельных ее слоев. Он сводится к обеспечению равнопрочности всех сравниваемых вариантов одежды в соответствии с заданными условиями движения по ним.

До расчета толщину конструктивных слоев назначают исходя из имеющегося опыта. При этом при последующих расчетах толщину наиболее прочных и дорогостоящих верхних слоев одежды не меняют, а толщину отдельных слоев основания определяют окончательным расчетом.

Как правило, в конкретных условиях движения городского транспорта может быть назначено несколько конкурирующих вариантов конструкций дорожных одежд. При этом возникает необходимость оценить технико-экономические преимущества того или иного варианта по сравнению с другими.

Типы структур материалов слоев дорожных одежд

Деформации дорожной одежды, возникающие под действием транспортных нагрузок и природно-климатических факторов, во многом зависят от вида и структуры материалов слоев, составляющих эту одежду. Слои дорожных одежд могут иметь структуру контактного, коагуляционного или кристаллизационного типа.

При *контактном типе* структуры, характерном для слоев из щебня, гравия и песка, минеральные частицы взаимодействуют между собой непосредственно. Такие слои не обладают связностью и практически не проявляют вязких свойств. Для покрытий с контактным типом структуры наиболее характерными являются деформации в виде волн, выбоин, а также повышенный износ. Для нижних слоев из материалов контактного типа характерными являются просадки, которые происходят за счет доуплотнения и дезинтеграции (размельчения) фракций.

При каждом прогибе дорожной одежды отдельные зерна минеральных материалов, взаимно действуя друг на друга, истираются, обламываются, раскалываются, что приводит к их размельчению и образованию мелких частиц и зерен. Раскалывание (дробление) щебенки происходит потому, что в точках контакта щебенок друг с другом возникают (концентрируются)

большие напряжения сжатия, которые могут превышать предел прочности каменного материала на сжатие или раскалывание. Особенно интенсивно происходят эти процессы в слоях дорожных одежд из малопрочных каменных материалов.

В частицах размерами менее 0,071 мм, образующихся при размельчении крупных зерен щебня, может наблюдаться капиллярное поднятие и длительное удержание воды. Превращаясь во влажную пластическую массу между отдельными твердыми зёрнами, мелкие частицы вместе с водой действуют как смазка, облегчая перемещение зерен, увеличивая размеры прогиба одежды под колесами автомобилей и вызывая более ускоренное дальнейшее измельчение материалов.

В слоях дорожной одежды, устроенных из материалов *коагуляционного типа*, минеральные частицы покрыты пленками органического вяжущего. К таким материалам относят укрепленные органическим вяжущим грунты, битумо-минеральные смеси и асфальтобетон. Материалы, обработанные органическим вяжущим, отличаются повышенной связностью и под действием нагрузки проявляют как упругие, так и вязкие свойства.

Особенностью дорожных одежд, построенных с применением органических вяжущих материалов, является то, что их эксплуатационные характеристики в течение срока службы подвержены непрерывным изменениям, обусловленным нестационарностью температурного режима и воздействием транспортных нагрузок, а также непрерывным изменением свойств вяжущего в процессе эксплуатации, носящим обратимый и необратимый характер.

В зависимости от температуры, свойств вяжущих и характера воздействия транспортных средств покрытия с органическими вяжущими будут обладать свойствами упругих, упруговязких или пружинно-вязкопластичных сред. Чем ниже температура и менее продолжительность действия нагрузки, тем выше упругие свойства покрытия. По мере повышения температуры и увеличения продолжительности действия нагрузки все больше начинают преобладать пластические свойства покрытия (рис. 3).

При отрицательных температурах покрытия из материалов, содержащих органическое вяжущее, приобретают свойства хрупкого тела. Значительно повышаются модули упругости и сопротивление сжатию, но одновременно снижается их способность деформироваться без нарушения сплошности при невозможности изменения размеров. По данным Н.Н. Иванова и Н.М. Распопова, колебания предельных значений относительных удлинений асфальтобетона при 0 °С находятся в пределах 0,006...0,002, а при -20 °С — в пределах 0,0015...0,0006. Большие значения получены для мелкозернистых

смесей с менее вязким битумом, а меньшие значения — для крупнозернистых смесей с более вязким битумом.

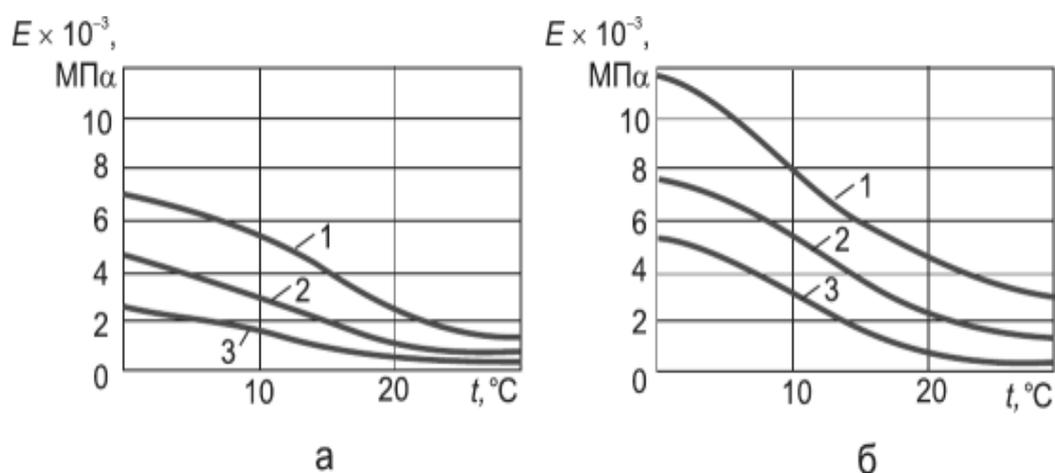


Рисунок 3 - Зависимость модуля упругости асфальтобетона от его температуры (данные А. О. Салля): а — продолжительность действия нагрузки 1 с; б — продолжительность действия нагрузки 0,1 с; 1, 2, 3 — для асфальтобетона на битуме марки БНД 60/90, БНД 90/130, БНД 30/200 соответственно смесей, а также материалов, обработанных жидким битумом, предельные относительные удлинения будут выше.

Поэтому при оценке прочности существующих дорожных одежд необходимо принимать за расчетные значения модулей упругости и сопротивления растяжению при изгибе асфальтобетонов и дегтебетонов, приведенные в нормативных документах по расчету прочности дорожных одежд. Их назначают в зависимости от характера действия транспортной нагрузки (кратковременное, длительное) с учетом расчетной для данной зоны температуры воздуха и покрытия.

Для слоев с коагуляционным типом структуры наиболее характерны разрушения в виде усталостных и температурных трещин и деформации в виде сдвигов и наплывов. Физико-механические свойства материалов, обработанных битумом, определяются особенностями связей, возникающих между отдельными минеральными зернами, и зависят от свойств битума, толщины его пленки, покрывающей минеральные зерна, а также от изменения со временем химического состава битума, т.е. перехода части масел в смолы, а части смол — в асфальтены.

Наибольшую опасность представляет резкое понижение температур и покрытия зимой, а также медленное и глубокое промерзание дорожной конструкции, способствующее неравномерному пучению земляного полотна и поднятию проезжей части, особенно на участках с неблагоприятными грунтово-гидрологическими условиями. Указанные явления при недостаточном предельном относительном удлинении покрытия приводят к

образованию в нем трещин независимо от характера и интенсивности движения.

Существенное влияние на деформативные свойства слоев дорожной одежды из материалов с органическими вяжущими в процессе эксплуатации оказывает процесс старения вяжущего и увеличения его вязкости, которая может возрасти в слое покрытия на порядок.

Основным фактором, определяющим интенсивность старения битума в покрытии в процессе эксплуатации, является пористость дорожного покрытия. При пористости асфальтобетона менее 2% старение битума можно не учитывать, так как изменение свойств в этом случае незначительно по сравнению с изменениями, происходящими на этапе приготовления смеси и ее укладке.

На процесс старения вяжущих влияют также адсорбция и абсорбция их компонентов минеральными материалами, вызывающие нарушение структуры вяжущего.

При старении материалов типа асфальтобетона под действием воды и кислорода воздуха выявляются три стадии (рис. 3).

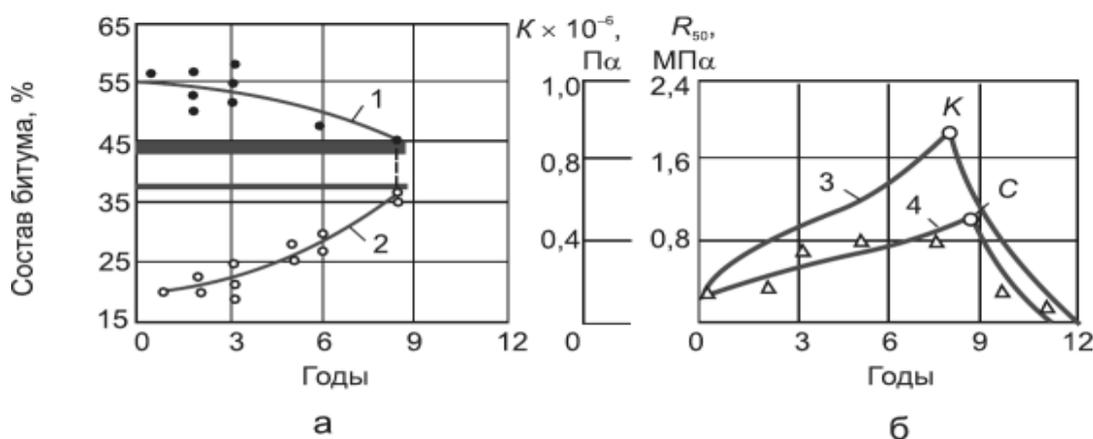


Рисунок 3 - Влияние старения битума на срок службы покрытий (данные Ю.В. Слободчикова): а — изменение группового химического состава битума: 1 — масла; 2 — асфальтены; б — изменение когезионной прочности битума (3) и прочности покрытия с применением битума (4), K и C — точки резкого падения прочности покрытий

На *первой стадии* в течение длительного времени происходит нарастание прочности, водостойкости и уменьшение деформативных свойств материала. Это происходит за счет уменьшения количества масел, увеличения смол и особенно асфальтенов, а также за счет повышения вязкости и когезии битума в результате процессов взаимодействия битума с минеральными материалами. На *второй стадии* старения снижается водо- и морозоустойчивость битумо-минерального материала без заметного

изменения его прочности. *Третья стадия* сопровождается резким снижением прочности материала, повышением его водонасыщения, набухания и уменьшением водо- и морозостойчивости. Это приводит к коррозии покрытия, усиленному выкрашиванию минеральных частиц и образованию выбоин и разрушений.

При одном прогибе дорожных одежд, минеральный материал которых обработан органическими вяжущими, эти изменения могут быть бесконечно малыми. Однако за время службы одежды число прогибов измеряется миллионами, поэтому величины остаточных деформаций возрастают.

Кристаллизационный тип структуры характерен для цементобетонов, каменных материалов и грунтов, укрепленных цементом и другими минеральными вяжущими. Связь между частицами материала осуществляется в результате спаек, образованных кристаллами вяжущего.

Для таких материалов характерна повышенная жесткость и прочность, упругие свойства выражены достаточно четко. Наиболее опасными напряжениями для слоев одежды из монолитных материалов являются растягивающие, возникающие в слое при изгибе, а для слоев из слабосвязных материалов (зернистых) — напряжения сдвига (касательные).

Для слоев и покрытий с кристаллизационным типом наиболее характерными являются восстанавливающиеся упругие деформации, а также разрушения в виде трещин и сколов. На покрытиях возникают преимущественно разрушения — трещины, проломы, шелушение, истирание [1].

Существенные напряжения в цементобетонных покрытиях возникают от воздействия нагрузок и изменяющейся температуры. При изменении температуры воздуха, сопровождающемся нагреванием или охлаждением покрытия, оно стремится изменить свои размеры, но из-за сопротивления сил трения нижней поверхности покрытия о грунт (или другой материал основания) это становится затруднительным, и в покрытии возникают температурные напряжения. К температурным относят также напряжения, возникающие в покрытии в результате неравномерного распределения в нем температур по толщине, обуславливающие стремление его к короблению и противодействия этому собственной массы. Кроме того, температурными можно условно считать напряжения, возникающие при неравномерном поднятии покрытия в процессе зимнего вспучивания земляного полотна. Температурные напряжения совместно с напряжениями от воздействия нагрузок от транспортных средств приводят к образованию и развитию трещин в бетонном покрытии.

Кроме перечисленных причин деформаций и разрушений дорожных одежд и покрытий могут быть отступления от нормативных требований к технологии

и организации работ при строительстве или ремонте, нарушения требований к материалам и составам смесей и т.д.

Механизм усталостного разрушения

Хотя 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. Повторные приложения нагрузок приводят к накоплению разорванных связей. В результате через определенное число циклов приложения нагрузок в нижней части покрытия по полосам наката возникают продольные волосяные трещины, объединяющиеся затем в большие, образуется сетка трещин. Трещины растут одновременно в двух направлениях: вверх и по длине. При дальнейших нагружениях трещина проходит сквозь покрытие и становится видимой на его поверхности.

Другая часть трещин зарождается на поверхности покрытия или другого слоя и развивается сверху вниз. Это температурные трещины и трещины, возникающие в зоне выпуклого изгиба покрытия под действием колес автомобилей.

Большую долю трещин на поверхности покрытия составляют отраженные трещины. Это трещины старого покрытия, на котором уложен новый слой асфальтобетона. Опыт показывает, что трещины старого покрытия в процессе эксплуатации начинают проявляться уже через один-два года, а по истечении пяти-семи лет могут полностью повториться на новом покрытии.

Существует много причин образования трещин:

- недостаточная прочность дорожной одежды и земляного полотна, не соответствующая фактическим нагрузкам от автомобилей, вследствие чего возникают большие прогибы и растягивающие напряжения в слоях дорожной одежды;
- большие перепады температур от положительных к отрицательным, при которых возникают знакопеременные напряжения; особенно опасны низкие отрицательные температуры, которые сопровождаются возникновением очень высоких растягивающих напряжений в слоях дорожной одежды; недостаточная трещиностойкость асфальтобетонных покрытий, обусловленная несоответствием деформативных свойств битума реальным температурным условиям работы покрытий;

- различие теплофизических свойств материалов слоев смежных покрытий, вследствие чего возникают дополнительные напряжения по плоскостям сопряжения слоев при температурных перепадах;
- неравномерное уплотнение земляного полотна и слоев дорожной одежды;
- образование пучин, сопровождающееся возникновением сетки трещин в дорожной одежде.

Появление и развитие трещин не имеет взрывного характера, но происходит достаточно быстро. Исключение составляют трещины в местах образования пучин, которые возникают зимой в момент поднятия бугра при промерзании дорожной одежды и земляного полотна, или весной в момент полного оттаивания грунта, когда проезжающие автомобили могут полностью разрушить ослабленную дорожную одежду. В этом случае сетка трещин может образоваться в течение одного зимне-весеннего периода.

В условиях континентального климата первыми, как правило, появляются зимой температурные поперечные трещины на расстоянии 40—50 м одна от другой. Они могут появляться уже в первый год службы дорожной одежды или покрытия. Продольные трещины, трещины по полосам наката и трещины произвольного направления возникают обычно через четыре года и чаще на новом покрытии. Отраженные трещины могут появиться через один-два года после устройства нового слоя.

Наиболее быстро развиваются трещины весной и осенью, а наиболее широко раскрываются зимой и весной. В летний период многие мелкие трещины закрываются за счет размягчения битума и расширения материала в покрытии или закатываются колесами автомобилей.

Трещины в цементобетонных покрытиях образуются в разное время, в различных местах плит, имеют разное очертание и направление, а также неодинаковую глубину.

Число, протяженность и ширина трещин пропорциональны сроку службы покрытия.

Трещины имеют различные размеры по ширине, длине и глубине. Однако общепринятая классификация трещин отсутствует. Наиболее часто разделяют трещины по ширине, при этом в разных странах критерии отнесения трещин к тому или иному классу различаются. Обобщая различные источники, можно предложить следующую классификацию трещин по ширине: узкие — до 5 мм; средние — 5—10; широкие — 10—30 и очень широкие — более 30 мм. В начальной стадии образования трещины практически не оказывают влияния на условия движения автомобилей до тех пор, пока трещины не переходят в выбоины.

Наличие трещин на покрытии и в дорожной одежде оказывает очень большое влияние на прочность и срок службы дорожной одежды по следующим причинам:

- трещины нарушают целостность и монолитность дорожной одежды, разделяя ее на отдельные, не связанные между собой блоки. В результате нагрузка от колеса автомобиля передается на значительно ослабленную конструкцию, распределяется на меньшую площадь, создавая в них повышенные напряжения и деформации;
- через трещины вода проникает в основание и земляное полотно и значительно ослабляет их прочность и несущую способность;
- при наезде колес на кромки трещины отдельные части покрытий обламываются, стенки трещины перемещаются одна относительно другой в вертикальной плоскости. В результате кромки обламываются и разрушаются, стенки раскрашиваются и постепенно трещина превращается в выбоину. Процесс превращения трещин в выбоины неизбежен, если не предпринять своевременных мер по ремонту трещин. Важно и то, что попавшая в раскрытую трещину вода при замерзании увеличивает темп роста трещин по ширине и длине.

Таким образом каждая своевременно не устраненная трещина, а тем более сетка трещин рано или поздно превратится в выбоину.

С позиций восприятия водителем состояния поверхности покрытия и его влияния на условия движения автомобиля к выбоинам и ямочности можно отнести местные посадки, проломы, места с сильным выкрашиванием материала покрытия, а также крупные трещины.

Причины образования ямочности и выбоин

Одной из главных причин является недостаточная прочность дорожной одежды, а наличие широких трещин и тем более сетки трещин служит явным признаком этого.

Опыт показывает, что с уменьшением прочности дорожной одежды площадь ямочности в процессе эксплуатации резко увеличивается (рис. 15.3). Как следует из этого графика, среднегодовая площадь ямочности на восьмой год эксплуатации дорожной одежды капитального типа с асфальтобетонным покрытием при коэффициенте запаса прочности 1,5 составляет около 0,1% от общей площади, а при коэффициенте запаса прочности 1,0 составляет около 2%, т.е. в 20 раз больше. В большинстве случаев начальная стадия возникновения выбоин и ямочности совпадает с периодом неблагоприятных погодных условий, особенно с весенним периодом частого перехода от

положительной к отрицательной температуре воздуха, избыточного увлажнения грунта земляного полотна и слоев дорожной одежды.

Вода, попадая в трещины, усиливает коррозионные физико-химические процессы в материалах дорожной одежды, а при замерзании оказывает растягивающее действие на стенки трещин и отдельные частицы материалов.

В сочетании с динамическим воздействием от транспортных нагрузок материал покрытия в зоне образования трещины начинает разрушаться и выбиваться, а трещина быстро перерастает в выбоину. Поэтому незаделанная трещина всегда является потенциальным источником появления выбоин.

Другим источником возникновения выбоин являются неровности дорожного покрытия, начиная от неровностей, допущенных при устройстве слоев дорожной одежды, когда не соблюдаются требования к ровности и однородности в процессе разравнивания и уплотнения материалов, и включая неровности в виде трещин, сдвигов и наплывов, которые возникают в процессе эксплуатации асфальтобетонных покрытий из смесей с повышенной пластичностью. В любом случае выбоины и ямы необходимо заделывать на ранней стадии их образования. Опыт показывает, что каждая незаделанная выбоина увеличивается в размерах и способствует появлению новых выбоин. Вначале этот процесс идет медленно, а затем приобретает лавинообразный характер. Если стоимость работ по ямочному ремонту, выполненному ранней весной, принять за единицу, то с опозданием ремонта на два-три месяца эта стоимость может возрасти в 3—5 раз.

Дисциплина: Эксплуатация автомобильных дорог

Контрольные вопросы:

1. Классификация дорожной одежды по типам покрытия;
2. Конструктивные слои дорожной одежды;
3. Главные причины образования ям и выбоин на дорогах.

Список литературы

1. Автомобильные дороги. Строительство, ремонт, эксплуатация / Л.Г. Основина и др. - М.: Феникс, 2015. - 496 с.
2.
2. Науменков, Н. К. 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.

3. 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.