

Литература

1. Солодкая, М. Г. Определение влияния эксплуатационного состояния автомобильных дорог на динамические нагрузки автомобиля / М.Г. Солодкая, Я. Н. Ковалев // Автомобильные дороги и мосты. – 2010. – № 2(6). – С. 110–115.
2. Солодкая, М. Г. Исследование некоторых закономерностей в системе «автомобиль – дорога» / М. Г. Солодкая // Наука и техника. – 2013. – № 2. – С. 40–43.
3. Тагаев, К. А. Повышение транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог при текущем ремонте и содержании: автореф. дис. канд. техн. наук : 08.00.05 / К.А. Тагаев ; Ташк. автомоб.-дор. институт.

УДК 691.168

Теоретические основы деструктивного воздействия погодно-климатических факторов на поверхностный слой асфальтобетона

Ходан Е.П.¹, Игошкин Д.Г.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Государственное предприятие «БелдорНИИ»

Важнейшим свойством асфальтобетона, предопределяющим долговечность этого материала, является устойчивость его структуры в условиях изменяющегося влажностного и температурного режимов. Подобно большинству других пористых строительных материалов, асфальтобетон разрушается главным образом при длительном или периодическом увлажнении, а также в результате попеременного замораживания и оттаивания. Помимо разрушающего действия воды при ее замерзании в порах, адсорбционные слои воды, понижая поверхностную энергию, облегчают образование новых поверхностей в асфальтобетоне при ее деформировании. Расклинивающее действие водных пленок, разъединяющих минеральные зерна и отслаивающих битумные слои, усиливает разрушающий эффект [1].

При длительном увлажнении вода проникает в поры асфальтобетона, частично насыщает битум, проникает через дефектные места битумных слоев к поверхности минеральных зерен. Все это способствует отслаиванию би-

тумных пленок, особенно при недостаточной адгезии их к поверхности минеральных частиц. В итоге эти явления приводят к ослаблению структурных связей в асфальтобетоне, что облегчает его разрушение под действием транспортных средств.

Еще более разрушительно действие воды, замерзающей в порах асфальтобетона или в порах содержащегося в нем каменного материала. Замерзающая вода, увеличиваясь в объеме, вызывает большие напряжения в стенках пор. В результате этого могут возникать микротрещины, заполняющиеся при оттаивании водой. Помимо ее расклинивающего действия, усиливающегося под действием переменных нагрузок транспортных средств, замерзающая в микротрещинах вода способствует развитию процесса разрушения асфальтобетона.

Коррозионные разрушения асфальтобетонных покрытий обычно проявляются в виде усиленного выкрашивания асфальтобетона или минеральных частиц, приводящего к большому износу покрытия и к образованию значительного количества отдельных разрушенных участков (выбоин).

Опыт эксплуатации асфальтобетонных покрытий показывает, что они особенно интенсивно разрушаются от атмосферной коррозии в период длительного увлажнения, а также во время оттепелей, которым предшествовало значительное количество знакопеременных колебаний температур.

Подобные разрушения, часто наблюдаемые в весеннее время, связаны с недостаточной коррозионной устойчивостью (недостаточной водо- и морозостойкостью) асфальтобетона. Недостаточная коррозионная устойчивость является наиболее частой причиной преждевременного разрушения асфальтобетонных покрытий во многих районах страны, особенно в районах избыточного увлажнения и с частыми знакопеременными температурами.

Таким образом, применение асфальтобетонов, более устойчивых против атмосферной коррозии, является одним из важнейших факторов, способствующих удлинению сроков службы покрытий [2].

Известно, что водостойкость асфальтобетона зависит от адгезии битума с поверхностью каменного материала, вязкости, свойств поверхности каменного материала, а морозостойкость - от характера пор в асфальтобетоне [3].

Исследование длительной водостойкости (240 суток) [4] асфальтобетонных систем показало, что наиболее устойчивым к воздействию воды является асфальтовяжущее вещество. С увеличением крупности заполнителя в системе наблюдается значительный рост водонасыщения. Если в асфальтовяжущем после 240 суток выдерживания в воде водонасыщение возрастает на 1 % – 1,5 %, то в асфальтобетоне – от 3 % до 5 %. При длительном контакте с водой большую роль играет диффузия воды сквозь битумную

пленку. Особенно это проявляется в асфальтобетонных смесях на битумах пониженной вязкости, имеющих низкую адгезионную способность.

Влияние водного фактора на прочность и деформационные свойства асфальтобетона проявляется значительно. При длительном или кратковременном, но часто повторяющемся контакте асфальтовых материалов и битумов с водной средой изменяется их структура, что наиболее отчетливо проявляется в изменении их структурно-механических свойств - прочности, вязкости, пластичности и т. п. Как правило, эти показатели технических свойств ухудшаются, так как вода является сильнодействующим агрессивным фактором. Ухудшение показателей структурно-механических свойств является прямым отражением процесса разрушения структуры асфальтового материала. Разрушение структуры происходит тем быстрее, чем интенсивнее диффузия.

Проникновение воды в асфальтобетон и битум практически трудно предотвратить, но можно затормозить проникновение, уменьшить количество и ослабить эффект воздействия воды на материал. Длительный контакт дорожных покрытий с водой, отмечается в весенний и осенний периоды. Сохранение равновесного состояния воды на наружной поверхности покрытий возможно при краевом угле смачивания, большем 90° .

Проникновение воды в асфальтовый бетон при длительном контакте с водной средой замедляется различными мероприятиями — уплотнением, очисткой покрытия от насосов и пр. Но полностью оно не предотвращается и начинается с гидрофилизации поверхности.

Следует отметить, что явление гидрофилизации отмечается даже у материалов гидрофобных — расплавленного воска, парафина, нафталина и др. Повышение смачиваемости происходит при длительном контакте битумов с водой. Н. К. Адам приходит к выводу, что «привыкание» обусловлено застреванием молекул воды в поверхностных слоях и повышением в связи с этим адгезии между поверхностью и водой. В последующий период происходит объемная диффузия воды. Проникновению воды в асфальтовый бетон способствует беспрепятственное распространение молекул вследствие теплового движения (энтропийный фактор) и внутреннего смачивания (энергетический фактор).

Неоднократно наблюдалось усиление диффузии воды в битум при периодически менявшихся температурах водной среды. При этом интенсивность процесса диффузии выражалась периодическим спадом и подъемом («пиками»), что отражает сложный путь молекул воды внутри битума, в том числе с движением их в направлениях, обратных диффузии внутрь. Усредненная зависимость между количеством продиффундированной воды и продолжительностью процесса согласуется с законом Фика и графически

выражается кривой с более или менее постепенным подъемом до равновесного состояния. Диффузия воды находится в зависимости от состава битума; по мере увеличения содержания асфальтенов количество продифундировавшей воды понижается. Процесс диффузии воды в битум связан также с содержанием асфальтогеновых кислот, водорастворимых соединений и с химической природой битумов. При постоянном количестве водорастворимых веществ и при одинаковой химической природе количество свободных асфальтогеновых кислот и других полярных групп, внесенных в виде поверхностно-активных добавок, но полностью не израсходованных в процессе химического адсорбирования, оказывают основное влияние на повышение количества и интенсивности диффузионного проникновения воды в битумы и битумо-минеральные материалы.

Процесс диффузии также усиливается с увеличением водорастворимых веществ в битумах. Со временем диффундируемая вода способна частично или полностью вымывать их из битума, придавая при низких температурах битуму кавернозную или пористую текстуру.

Предложены различные методы определения степени понижения прочности асфальтовых материалов в водонасыщенном состоянии.

Одним из них является снижение пределов прочности образцов асфальтового бетона при испытании их на растяжение после многократного насыщения водой и последующего высушивания. Снижение прочности происходит вследствие того, что вода проникает через тонкую битумную пленку и в той или иной степени отесняет ее от поверхности минеральных материалов с нарушением сцепления на границе раздела этих компонентов монолита.

Отрицательное влияние водной среды усиливается при циклическом насыщении и высушивании, асфальтового материала, особенно в период первых циклов. Наблюдалось снижение прочностных показателей на 50 % и более после пятикратного циклического воздействия водно-тепловых факторов; при последующих циклах интенсивность несколько снижалась [5].

При длительном воздействии воды на асфальтобетон происходит увеличение остаточной пористости, водопоглощения (открытой пористости), снижение прочности и всех структурно-механических показателей. Более интенсивно по сравнению с водопоглощением в пресной воде эти изменения протекают в растворе хлорида натрия и еще более интенсивно в растворе нитрата кальция (наиболее агрессивной для асфальтобетона является нитратная среда).

Динамика этих изменений не одинакова у различных составов асфальтобетонных смесей. В различных агрессивных растворах щебенитые и песчаный асфальтобетоны ведут себя по разному. Так в воде и в 5 % растворе

NaCl всех сравниваемых щебенистых составов водопоглощение увеличивается примерно одинаково до значений 5,5 % (т.е. в 2,5 раза от начального значения). Более интенсивно пористость увеличивается в 5 % растворе нитрата кальция - нитрата магния - мочевины НКММ и у песчаного асфальтобетона достигает величины 6,2 % (в 3,6 раза от первоначального).

Показатель водопоглощения, определенный по стандартной методике, также увеличивается. Через 28 суток испытания максимальные значения 2,1 % получены у мелкозернистого асфальтобетона на известняковом щебне в 5 % растворе НКММ. Это еще раз подтверждает вывод о том, что более агрессивной для асфальтобетона является нитратная среда.

При положительных температурах прочность всех оцениваемых серий образцов снижается в среднем на 20 % - 30 %. Наиболее интенсивно это происходит в 5 %-ом растворе нитрата кальция (коэффициент длительной водостойкости на 28 сутки составил 0,70-0,75).

Иная тенденция наблюдается при испытаниях при нулевой температуре. В начальный период, примерно до 10–18 суток водопоглощения предел прочности при 0 °С растет на 10 %–15 %, причем интенсивнее в воде, а затем, уменьшается примерно до исходных значений. Это видимо, связано с увеличением жесткости битума в контактной зоне без заметного разрушения микроконтактной структуры асфальтобетона при этом температурном режиме испытания. Можно предположить, что в процессе водопоглощения и определении механических свойств при температуре испытания 0 °С, контактный (пленочный) и объемный битум в асфальтовом бетоне сохраняют еще достаточно пластических свойств.

Длительное воздействие воды и агрессивных растворов в первую очередь разрушают поверхностный слой испытываемых образцов. При этом коэффициент водостойкости поверхностного слоя достигает при воздействии воды значений – 0,42–0,60, раствора NaCl – 0,28–0,33, а НКММ – 0,32 [6].

Доказано, что совместное действие попеременного замораживания-оттаивания в присутствии химически агрессивной среды ускоряет деструктивные процессы, происходящие в асфальтобетоне. Процессы увеличения пористости и снижения прочности протекают динамичнее. Увеличение остаточной пористости разных асфальтобетонов в разных агрессивных средах достигает значений 5 %–8 %. Максимальную остаточную пористость показали составы мелкозернистой асфальтобетонной смеси на известняковом щебне и песчаной асфальтобетонной смеси. Это объясняется тем, что после нарушения сплошности пленки битума агрессивная среда начинает химически взаимодействовать с тонко- и грубодисперсными каркасными частицами минеральной части асфальтобетонных смесей (известняковый щебень, известняковый минеральный порошок).

Растворимые продукты химических реакций агрессивного раствора с карбонатом кальция вымываются из структуры (макро- и микро-) асфальтобетона, что способствует снижению плотности и, соответственно, увеличению остаточной пористости.

Факт разрушения структуры асфальтобетона подтверждается и увеличением открытой пористости материала - показатель водонасыщения растет. Увеличение водонасыщения тем больше, чем больше щебня в составе асфальтобетона. Это вызвано увеличением остаточной пористости.

С увеличением пористости происходит разрушение структуры материала. Это проявляется в образовании каверн, отслаивании пленки битума с поверхности каменного материала. При этом происходит и потеря прочности. Так предел прочности при сжатии после первых 50 циклов попеременного замораживания-оттаивания снижается на относительно незначительную величину (до 5 %–10 %), а при дальнейшем испытании на морозостойкость происходит более заметное снижение механических характеристик (до 40 %–50 %). Незначительное снижение прочности на первых этапах объясняет описанный ранее механизм, а именно что в начальный период испытания на морозостойкость структурные разрушения материала происходят, в основном, в поверхностном слое, а в дальнейшем, с увеличением числа циклов попеременного замораживания и оттаивания, происходят более глубокие необратимые деструктивные изменения в испытуемых образцах. Их позволяют количественно оценить стандартные методы, которые характеризуют в первую очередь объемные свойства всего образца из асфальтового бетона.

Максимальное снижение прочности при положительных температурах наблюдается у мелкозернистой асфальтобетонной смеси на известняковом щебне и у песчаной асфальтобетонной смеси, т.е. у смесей с большим содержанием карбоната кальция (в частицах щебня и минерального порошка). Это также подтверждает представленные ранее выводы о том, что эта горная порода при попеременном замораживании-оттаивании в присутствии противогололедных реагентов (после разрушения пленки битума химически активно взаимодействует с агрессивной средой, после чего растворимые продукты этих реакций легко вымываются из макро- и микроструктуры асфальтобетона. Это почти вдвое снижает прочность материала. При отрицательных температурах испытания наименее стойким после испытания на морозостойкость в агрессивных растворах является мелкозернистый асфальтобетон на известняковом щебне. Можно предположить, что после разрушения битумной пленки (микрорасщепленной структуры) в известняковый щебень агрессивный раствор проникает на большую глубину, и процессы разрушения макроструктуры протекают быстрее. Наиболее агрессивной по

отношению к асфальтовому бетону с химической точки зрения является 5 %-ный раствор нитрата кальция - нитрата магния - мочевины НКММ [6].

Вода в порах асфальтобетона при положительных температурах находится под нормальным атмосферным давлением. По мере понижения температуры ниже 0 °С вследствие кристаллизации льда возникает гидравлическое давление воды, оставшейся в жидком виде. Чем ниже температура замораживания, тем большее количество воды переходит в лед и тем большее создается гидравлическое давление. Картина резко меняется, если в порах наряду с водой имеется воздух. Обладая большой сжимаемостью, воздух будет гасить возникающее гидравлическое давление. Теоретически вероятность возникновения гидростатического давления и переохлаждения воды в порах асфальтобетона зависит от диаметра поры, температуры замораживания и количества воды в поре. Но ввиду неравномерности распределения диаметра пор и воды в материале, некоторые поры могут быть полнее заполнены и могут возникать местные гидравлические давления, которые с течением времени будут гаситься за счет отжатия воды из этих зон.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что на водо- и морозоустойчивость асфальтобетона большое влияние оказывают: плотность, однородность структуры и водопроницаемость асфальтобетона, а также характер имеющихся в нем пор; характер адгезии битума к поверхности минеральных зерен, водо- и морозостойкость используемых минеральных материалов, интенсивность процессов старения асфальтобетона.

Литература

1. Асфальтовые смеси, материалы, подбор смесей и строительство автомобильных дорог. Научно-исследовательский и образовательный фонд Национальной Ассоциации по Асфальтовому Покрытию Lanham, Maryland, 2009.
2. Швагирева О. А. Исследование влияния противогололедных реагентов на изменение структуры и свойств асфальтобетона: автореферат, дисс. канд. техн. наук / О. А. Швагирева. М.: МАДИ, 1999. – 20 с.
3. Гезенцевей Л. Б. Дорожный асфальтобетон / Л.Б. Гезенцевей, Н.В. Горельшев, А. М. Богуславский, И.В. Королев: М.: Транспорт, 1985 г.
4. Фоменко Г. Р. Исследование структурно-механических свойств асфальтобетонов на битумах различной вязкости: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук - Харьков, 1980. – 210 с.
5. Рыбьев, И. А. Асфальтовые бетоны: Учебное пособие для строительных и автомобильно-дорожных вузов / И. А. Рыбьев, д-р техн. наук проф. – М.: Высшая школа», 1969. – 398 с.
6. Котлярский Э. В., Воейко О. А. Долговечность дорожных асфальтобетонных покрытий и факторы, способствующие разрушению структуры

асфальтобетона в процессе эксплуатации / Э. В. Котлярский, О. А. Воейко. Московский автомобильно-дорожный институт (Гос. технический университет). – М.: Техполиграфцентр, 2007. – 136 с.

УДК 625.855.3

Исследование влияния изменения физико-механических свойств на формирование структуры и доуплотнения свежееуложенного асфальтобетона

Ходан Е.П., Кравченко С.Е.
Белорусский национальный технический университет

Практика строительства дорог с асфальтобетонным покрытием показывает, что преждевременное открытие движения по участкам со свежееуложенными асфальтобетонными слоями может стать причиной появления остаточных деформаций в форме колеи. До настоящего времени неизвестно при каких температурах можно открывать движение по свежееуложенным слоям, чтобы с достаточной надёжностью предотвратить появление преждевременных деформаций. Эта проблема имеет большое значение, так как с одной стороны должны соблюдаться интересы заказчика: открытие движения без длительных задержек, а с другой стороны подрядчик заинтересован в том, чтобы разрешить движение в тот момент времени, когда не существует опасности преждевременного возникновения остаточных деформаций [1]. Эта проблема может быть решена только тогда, когда будут определены величины соответствующих температур, при которых можно открывать движение транспорта (или после какого промежутка времени), чтобы избежать опасности преждевременного возникновения остаточных деформаций.

Причинами возникновения остаточных деформаций в свежееуложенных асфальтобетонных слоях на стадии охлаждения специалисты считают:

- 1) структурообразование в тиксотропном битуме;
- 2) пониженное давление воздуха в закрытых порах уплотненных асфальтобетонных при их охлаждении.

Согласно первой гипотезе, вязкость битума при одной и той же температуре испытания зависит не только от самой температуры, но и от того, изменяется ли эта температура, снижаясь с более высокого уровня, или, повышаясь с более низкого уровня.