

## ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ПОРИСТЫХ СЛОЕВ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

*Докт. техн. наук, проф. ВЕРЕНЬКО В. А., канд. техн. наук СИЗОВ В. Д.*

*Белорусский национальный технический университет*

Важнейшим свойством асфальтобетона и других материалов дорожного покрытия является устойчивость их структуры к циклическому воздействию знакопеременных температур и изменяющемуся влажностному режиму. При замораживании–оттаивании в водонасыщенном состоянии происходит наиболее интенсивное разрушение асфальтобетона. Адсорбционные слои воды, понижая поверхностную энергию, облегчают образование новых поверхностей в асфальтобетоне при его деформировании.

В весенне-осенний период асфальтобетон может находиться в хрупком состоянии, а заполняющая открытые поры материала вода меняет свое фазовое состояние – переходит в лед и, расширяясь, способствует образованию микротрещин. Положение усугубляется действием поверхностно-активной среды, которая вызывает расклинивание первичных микротрещин из-за образования в их тупиковых зонах значительного расклинивающего давления. Такого рода повторные термовлажностные воздействия приводят к накоплению остаточных деформаций. Таким образом, пленки воды оказывают расклинивающее действие, что влечет отслаивание пленок битума от поверхности зерна минерального материала. Этот процесс усугубляется воздействием переменных нагрузок от транспортных средств. Макро- и микротрещины на границе раздела заполнитель – вяжущее уменьшают поверхность сцепления вяжущего с заполнителем, в свою очередь структура асфальтобетона расшатывается.

В результате совместного действия погодно-климатических факторов и транспортной нагрузки уровень повреждаемости в определенный момент достигает критического, покрытие деформируется и разрушается.

К особым видам коррозионных деформаций относят деформации, возникающие вследствие миграции влаги в крупных внутренних порах материала и способствующие разрушению материала покрытия в теплый период года, когда вода имеет высокую активность, способствует вымыванию битума, появлению крупных белых пятен на покрытии и его быстрому разрушению (рис. 1, 2).



*Рис. 1.* Белые пятна на покрытии, возникшие вследствие миграции влаги и вымывания битума



*Рис. 2.* Разрушение покрытия за счет появления белых пятен

Данный вид коррозионных деформаций и разрушений наименее изучен. Однако представляет большую опасность, поскольку ему подвержены новые покрытия, мостовое полотно и другие ответственные конструкции.

Такая ситуация возникает при капитальном ремонте и усилении дорожных одежд, укладке слоев асфальтобетона на цементобетонные

основания, при устройстве мостового полотна и др.

Расположение пористого и высокопористого слоев на плотном слое и «запирание» его материалом укрепленной обочины ведут к коррозионным деформациям особого вида, связанным с фильтрацией воды по крупным порам, и разрушению материала. На практике с подобным случаем пришлось столкнуться в процессе капитального ремонта дороги М1/Е30.

В летний период 1997 г. на асфальтобетонном покрытии автомагистрали Москва – Брест (Е30) появились высолы белого цвета (рис. 2). Особенно заметны эти явления на отдельных участках (690-й, 694-й км Брестского и 771-й, 773-й км Московского направлений).

В местах отбора кернов, а также на ряде участков покрытия на его поверхности были обнаружены явные следы воды. Так, на фотографии рис. 3 видно, что вода заполнила лунки от кернов и имеются места выхода ее на поверхность покрытия.



Рис. 3. Заполнение керна водой в местах развития коррозионных деформаций

Одной из основных причин появления пятен и деструкции материала покрытия явилось полное водонасыщение нижнего высокопористого слоя, уложенного на водонепроницаемое цементобетонное основание, с последующим выходом воды на поверхность покрытия в местах отдельных неоднородностей и соприкосновения насыщенного водой порового пространства нижнего слоя с покрытием.

Рассмотрим теоретическую возможность развития образования конденсационной влаги по законам теплофизики. Для анализа тепловлажностного режима многослойных асфальтобетонных покрытий в первом приближении можно использовать подход, применяемый для анализа

теповлажностного режима наружных ограждений в соответствии с ТКП 45-2.04-43–2006. В этом случае данный анализ производится посредством построения графиков распределения температур ( $T$ ), действительных ( $e$ ) и максимальных ( $E$ ) парциальных давлений водяного пара в толще слоя.

Температура на границе каждого слоя определяется по формуле

$$t_i = T_i - q \sum_{j=1}^n R_n, \quad (1)$$

где  $q$  – тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>, определяемый по формуле

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\Sigma R_i}; \quad (2)$$

$T_1$  – температура наружной поверхности слоев асфальтобетона, °С;  $T_2$  – температура внутренней поверхности слоев асфальтобетона, °С;  $R_n$  – термическое сопротивление слоев асфальтобетонного покрытия от наружной поверхности до рассматриваемой плоскости, м<sup>2</sup>·°С/Вт;  $\Sigma R_i$  – общее термическое сопротивление всех слоев асфальтобетонного покрытия, м<sup>2</sup>·°С/Вт.

Значения максимальных парциальных давлений водяного пара ( $E$ ) в зависимости от температур в плоскостях слоев асфальтобетонного покрытия определяются по приложению Ж ТКП 45-2.04-43–2006.

Для нахождения действительных парциальных давлений водяного пара  $e_i$ , Па, на поверхности асфальтобетонного покрытия воспользуемся выражением

$$e_i = 0,01\varphi_i E_i, \quad (3)$$

где  $E_i$  – максимальное парциальное давление в точках слоев асфальтобетонного покрытия в зависимости от температуры, Па;  $\varphi_i$  – относительная влажность, %.

Для наружной поверхности асфальтобетонного покрытия относительная влажность в расчетах принимается равной 8,5 %, для внутренней поверхности – 100,0 %.

Для нахождения действительных значений парциальных давлений водяного пара на границах слоев воспользуемся формулой

$$e_i = e_1 - \frac{e_1 - e_{II}}{R_m} \sum_{i=1}^m R_{mi}, \quad (4)$$

где  $R_m$  – сопротивление паропрооницанию всей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ ;  $e_1, e_{II}$  – действительное парциальное давление I-го и II-го слоев;  $R_{mi}$  – сопротивление паропрооницанию слоя асфальтобетонного покрытия всей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ ,

$$R_{mi} = \frac{\delta_i}{\mu_i}; \quad (5)$$

$\delta$  – толщина I-го слоя, м;  $\mu_i$  – расчетный коэффициент паропрооницаемости материала слоя асфальтобетонного покрытия,  $\text{мг} / (\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$ .

Для выполнения расчетов были приняты два варианта дорожного покрытия:

1) традиционная конструкция, состоящая из верхнего плотного и нижнего пористого слоев асфальтобетона, уложенных на щебеночное основание из гранита (рис. 4);

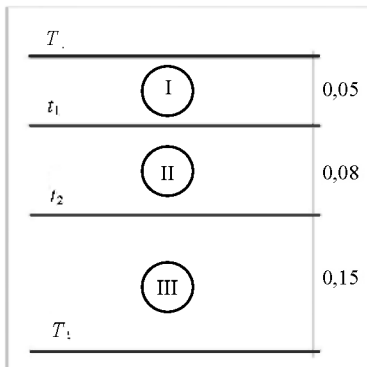


Рис. 4. Типовая конструкция дорожного покрытия, вариант № 1: I – плотный асфальтобетон:  $\delta_1 = 0,05$  м,  $\rho_1 = 2400 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu_1 = 0,008 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$ ;  $\lambda_1 = 1,4 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ; II – пористый асфальтобетон:  $\delta_2 = 0,08$  м,  $\rho_2 = 2300 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu_2 = 0,008 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$ ;  $\lambda_2 = 1,25 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ; III – гранитный щебень:  $\delta_3 = 0,15$  м,  $\rho_2 = 1800 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu_3 = 0,3 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$ ;  $\lambda_3 = 1,86 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$

2) конструкция, применяемая при капитальном ремонте и усилении дорожного покрытия, мостового полотна и др. Конструкция состоит из трех слоев, включающих покрытие из плотного асфальтобетона, пористый асфальтобетон и плотный асфальтобетон или цементобетон (рис. 5). В этом случае пористый асфальтобетон «заперт» между двумя слоями плотного бетона.

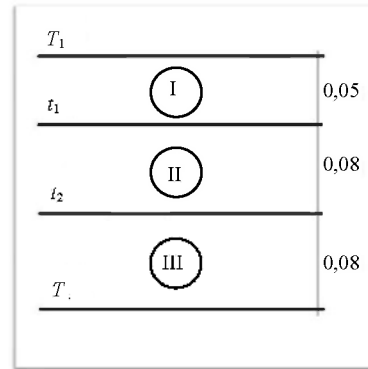


Рис. 5. Конструкция дорожного покрытия, вариант № 2: I – плотный асфальтобетон:  $\delta_1 = 0,05$  м,  $\rho_1 = 2400 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu_1 = 0,008 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$ ;  $\lambda_1 = 1,4 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ; II – пористый асфальтобетон:  $\delta_2 = 0,08$  м,  $\rho_2 = 2300 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu_2 = 0,008 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$ ;  $\lambda_2 = 1,25 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ; III – плотный асфальтобетон:  $\delta_3 = 0,08$  м,  $\rho_3 = 2400 \text{ кг/м}^3$ ;  $\mu_3 = 0,008 \text{ мг/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па)}$ ;  $\lambda_3 = 1,4 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$

Для оценки влияния температур на тепло-влажностный режим в асфальтобетонных покрытиях были выбраны три периода года с различными температурами на наружной и внутренней поверхностях трехслойных покрытий:

- летний период с температурами  $T_1 = 40-55 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_2 = 30-45 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- зимний период с температурами  $T_1 = 0-(-25) \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_2 = 5-(-15) \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- осенне-весенний период с температурами  $T_1 = 0-30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_2 = (-5)-10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Для вышеприведенных конструкций с указанными теплофизическими свойствами и температурных полей были выполнены расчеты температур каждого слоя, сопротивлений паропрооницанию, парциальных давлений водяного пара.

По полученным значениям температур, максимальных и действительных парциальных давлений водяных паров в слоях покрытия строили графические зависимости указанных величин. Некоторые полученные графики представлены на рис. 6–8.

Конденсация и накопление влаги в пористых слоях будут наблюдаться в случаях превышения и сближения действительных ( $e$ ) и максимальных ( $E$ ) парциальных давлений водяного пара в толще слоя.

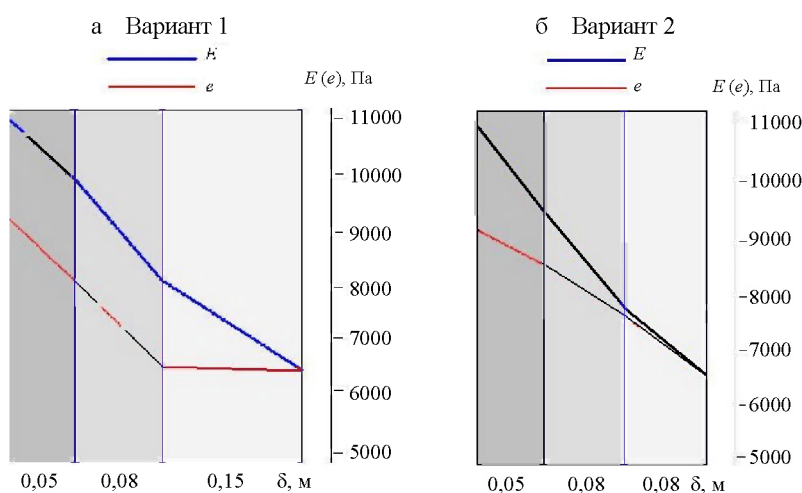


Рис. 6. Зависимость максимальных и действительных парциальных давлений водяных паров в слоях покрытия в летний период

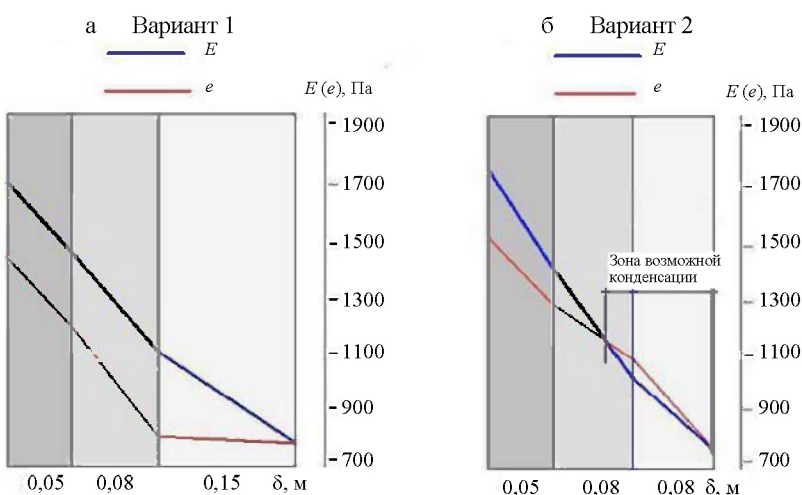


Рис. 7. Зависимость максимальных и действительных парциальных давлений водяных паров в слоях покрытия в осенне-весенний период

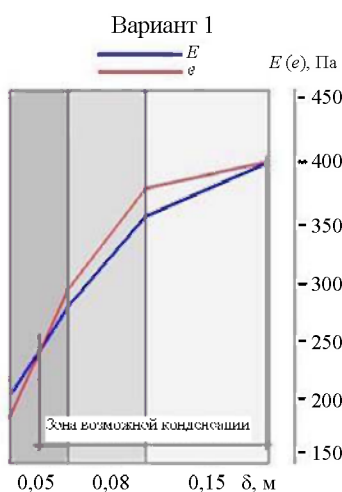


Рис. 8. Зависимость максимальных и действительных парциальных давлений водяных паров в слоях покрытия в зимний период

Выполненные расчеты и их анализ показали, что в конструкции варианта 2 неизбежно появление и накопление влаги в каждый период года (рис. 6, 7) на глубине 0,05–0,10 м, т. е. именно в пористом слое. В зимний период возможно интенсивное накопление влаги и в традиционной конструкции (рис. 8).

Таким образом, выполненные исследования и теплофизические расчеты подтвердили высказанные выше положения о неизбежности накопления влаги в пористых слоях асфальтобетонных покрытий. Особенно интенсивно эти процессы происходят при укладке пористых слоев на плотные основания. Такая ситуация наблюдается при капитальном ремонте и усилении дорожной одежды, мостового полотна.

Пористые асфальтобетоны обладают низкой устойчивостью к воздействию попеременного замораживания–оттаивания, которое неизбежно в зимний период. При интенсивном накоплении влаги эти слои преждевременно теряют несущую способность и снижают уровень надежности дорожной одежды в целом.

Основным моментом повышения коррозионной устойчивости является применение материалов нужного качества. Коэффициент морозостойкости зависит от следующих факторов:

$$K_{\text{мпз}} = 0,7595325 - 0,062753475W - 0,052590975R_0 + 0,0214656R_c, \quad (6)$$

где  $W$  – водонасыщение материала;  $R_0$  – прочность при  $0^\circ\text{C}$ ;  $R_c$  – предельная структурная прочность.

Зависимость (6) показывает, что добиться роста коррозионной стойкости можно за счет применения материалов с высокой плотностью и минимумом пор (снижение водонасыщения), а также за счет роста величины предельной структурной прочности. На практике это реализуется путем применения бетонов с повышенным содержанием битума и асфальтовязующего. При этом вязкость битума должна находиться в пределах 40–70 П, что обеспечивает высокий уровень предельной структурной прочности. Подобные свойства имеют литые, полулитые и щебеночно-мастичные асфальтобетоны.

Отмеченное требует пересмотра существующих подходов к конструированию и расче-

ту дорожных одежд, оценке уровней надежности и долговечности применяемых конструктивных материалов. В частности, необходим расчет дорожной одежды на теплофизические воздействия, исключающий конденсат и накопление влаги в пористых материалах.

## ВЫВОДЫ

1. При конструировании дорожной одежды нельзя допускать случаев расположения пористого щебеночного слоя между двумя плотными слоями, особенно при капитальном ремонте и усилении дорожной одежды, устройстве мостового полотна.

2. Необходимо пересмотреть действующие подходы к конструированию и расчету дорожных одежд, ввести их теплофизический расчет.

3. Добиться роста коррозионной стойкости асфальтобетона можно за счет применения материалов с высокой плотностью и минимумом пор (снижение водонасыщения), а также роста величины предельной структурной прочности. На практике это реализуется путем применения бетонов с повышенным содержанием битума и асфальтовязующего. При этом вязкость битума должна находиться в пределах 40–70 П, что обеспечивает высокий уровень предельной структурной прочности. Подобные свойства имеют литые, полулитые и щебеночно-мастичные асфальтобетоны.

Поступила 06.02.2012