

## СТАРЕНИЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА И НИСХОДЯЩЕЕ РАСТРЕСКИВАНИЕ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Канд. техн. наук Г.С. Бахрах  
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)

Контакт. информация: bakhrakh35@mail.ru

---

*Рассмотрено явление нисходящего растрескивания верхнего слоя асфальтобетонного покрытия. Проанализированы результаты исследований, выполненных в штате Флорида (США) по данному вопросу. Показано, что это явление обусловлено снижением сопротивления асфальтобетона растягивающим усилиям от движущегося транспорта в результате старения битума в слое и накопления микродефектов. Для оценки степени старения асфальтобетона может быть использован энергетический критерий.*

**Ключевые слова:** нисходящее растрескивание, старение асфальтобетона, податливость при ползучести, энергетический критерий разрушения.

---

Известно, что старение асфальтобетона сокращает срок службы дорожного покрытия. В работе [1] было рассмотрено влияние старения на срок службы верхнего слоя покрытия, а в работе [2] – дорожной одежды. Следует напомнить, что на срок службы последней в большей степени оказывает влияние старения промежуточных асфальтобетонных слоев.

Отечественными нормами изменение свойств асфальтобетона в результате старения не рассматривается. Лишь в ОДН 218.046-01 по проектированию нежестких дорожных одежд в разделе «Расчет конструкции на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению...» при определении прочности асфальтобетона при многократном растяжении при изгибе приводится коэффициент  $k_1$ , «учитывающий снижение прочности во времени от воздействия погодноклиматических факторов» (п. 3.41). Но при этом не ясно, каким образом учитывается старение битума.

Между тем, при подборе состава по методу «Суперпейв»<sup>1</sup> смеси нагревают при температуре ожидаемого уплотнения (между 149 и

---

<sup>1</sup> Суперпейв – англ. Superior Performance Pavements, т.е. метод проектирования составов асфальтобетонных смесей для дорожных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками.

157 °С) в течение двух часов после перемешивания перед изготовлением образцов. Это позволяет смоделировать процесс *технологического старения*. Для моделирования процесса старения в полевых условиях (*долговременное старение*) отформованные образцы помещают в сушильный шкаф с принудительной вентиляцией при температуре  $(85 \pm 3)$  °С на 5 суток и только после этого подвергают механическим испытаниям (AASHTO R 30). Считается, что такая процедура соответствует 5-10 годам окислительного старения асфальтобетона в дорожном покрытии. В работе [3] отмечено, что прогрев в сушильном шкафу в течение 2 суток соответствует 5 годам эксплуатации, а в течение 4-5 суток – примерно 10 годам. Этот метод оказался очень чувствителен к содержанию битума и пор в асфальтобетоне [4]. Согласно исследованиям Ю.В. Слободчикова (1972 г.), для условий Северного Казахстана переломный момент наступает через 7-12 лет, что близко к приведенным данным США.

Исследованию изменения физико-механических свойств асфальтобетона в процессе окислительного старения посвящены многие работы в России. Установлено, что при длительном прогреве на начальном этапе положительные свойства асфальтобетона улучшаются, а затем происходит обратный процесс. Пик процесса трактуется как область перехода асфальтобетона из вязкоупругого в упрягохрупкое состояние.

Чтобы оценить склонность асфальтобетона подобранного состава к старению и влияние старения на выносливость асфальтобетона, необходимо проведение трудоемких испытаний. Для их упрощения в работах [1,2] использовали, например, испытание водонасыщенных образцов на раскол (метод IDT<sup>2</sup>). Ранее был разработан метод определения числа часов прогрева лабораторных образцов при температуре 90 °С [5]. Для климатических условий Чувашии, например, чтобы добиться эквивалентных изменений свойств асфальтобетона после 5 лет эксплуатации покрытия, необходимо выдерживать образцы в сушильном шкафу в течение 900 ч. Прочность образцов по мере старения линейно возрастала примерно до 700 ч прогрева, а затем начала снижаться.

В США большее внимание уделяют старению верхнего слоя асфальтобетонного покрытия. Существует мнение, что явление *нисходящего растрескивания* (англ. Top-Down Cracking) покрытия обусловлено старением. Однако данный вопрос еще недостаточно проработан российскими специалистами. Поэтому необходимо дать некоторые пояснения.

В отличие от *восходящего растрескивания*, определяющего выносливость пакета асфальтобетонных слоев, нисходящее растрескивание возникает в верхнем слое покрытия и распространяется до его по-

---

<sup>2</sup> IDT – англ. Indirect Tension Test, буквально: косвенное испытание на растяжение.

дошвы. Обычно нисходящие трещины являются продольными и образуются в колее или рядом с ней. Сведения об этом явлении появились в 90-х годах в Европе, США, Японии и других странах [4]. В штате Флорида (США), например, более 90% трещин покрытия на разных дорогах было отнесено к категории нисходящего растрескивания (Миерс и Рок (*Myers and Roque*), 2002); Рок с соавторами (*Roque and others*), 2004). Были предложены различные гипотезы возникновения этого явления (Миерс с соавторами (*Myers and others*), 1998; Ванг с соавторами (*Wang and others*), 2003; Зоу с соавторами (*Zou and others*), 2012).

Полагают, что нисходящие трещины образуются в результате высокого напряжения сдвига от шин грузового автомобиля [4]. Но известно, что растягивающие напряжения в верхней части покрытия на порядок ниже, чем в его подошве. Остается предположить, что в результате старения сопротивление асфальтобетона растягивающим напряжениям настолько падает, что он не выдерживает даже невысоких их значений при повторных нагружениях.

В ряде исследований были предложены экспериментальные методы оценки склонности асфальтобетона к нисходящему растрескиванию (Рок с соавторами (*Roque and others*), 1999; Бак с соавторами (*Back and others*), 2012; Чен с соавторами (*Chen and others*), 2012). Следует упомянуть попытки разработать модель предсказания нисходящего растрескивания (Ванг с соавторами (*Wang and others*), 2007; Рок с соавторами (*Roque and others*), 2010). Однако данных для реализации поставленной цели оказалось недостаточно.

В штате Флорида в рамках проекта «Суперпейв» по наблюдению за нисходящим растрескиванием департамент транспорта и университет получили уникальную возможность оценить представленные модели на дорогах штата, эксплуатировавшихся более 10 лет (Рок с соавторами (*Roque and others*), 2011). Доработанная модель НМА-FM-E была откалибрована для условий Флориды (Рок с соавторами (*Roque and others*), 2010). Керны показали, что глубина нисходящих трещин составляет от 1 до 8 см. На некоторых дорогах было обнаружено отслаивание верхнего слоя. Оно также могло провоцировать нисходящее растрескивание.

Связь нисходящего растрескивания со старением асфальтобетона была исследована Зоу с соавторами во Флоридском университете [7]. Целью этой работы было выявление ключевых факторов, влияющих на нисходящее растрескивание для улучшения модели, помогающей более точно предсказать это явление и предложить средство борьбы с ним. Замечено, что начало появления нисходящих трещин происходит через 7-11 лет эксплуатации покрытия.

Для оценки характеристик выносливости (противоположность усталости) асфальтобетона с использованием модели механики разру-

шения в системе «Суперпейв» определяют, наряду с модулем упругости, параметрами кривой *податливости при ползучести* и прочностью на раскол, также *рассеянную энергию податливости при ползучести (РЭ)* в кДж/м<sup>3</sup> [6]. На графике *растягивающее напряжение – горизонтальная деформация* (испытание асфальтобетона на раскол при ползучести) – выделена область минимальной РЭ ( $РЭ_{min}$ ), при которой не происходит растрескивание. В этой работе критерий РЭ был откалиброван на основе исследования образцов, отобранных из существующего дорожного покрытия. Чтобы смесь была приемлема, отношение РЭ исследуемой смеси к  $РЭ_{min}$  должно быть больше 1,0. Приводится таблица рекомендуемых значений  $РЭ_{min}$  для разной годовой интенсивности движения. С целью сравнения сопротивления асфальтобетона нисходящему растрескиванию было предложено использовать отношение энергии податливости при ползучести к его минимальному значению ( $ER$ ), при котором трещины не возникают (Рок с соавторами (*Roque and others*), 2004).

В рассматриваемой работе [7] для кернов, отобранных из покрытий с разными сроками эксплуатации, IDT-методом (метод подробно описан в [8]) определяли характеристики выносливости, указанные выше. Напомним, что податливость при ползучести это уклон кривой ползучести в течение 1000 с, связанный с накоплением повреждений в образце. Был определен также *предел энергии разрушения ( $FE^3$ )*, являющийся полной энергией, необходимой для начала разрушения образца. Этот показатель предложил Рок с соавторами (2002).

Модуль упругости определяли, прикладывая к образцу полусинусоидальную циклическую нагрузку продолжительностью 0,1 с перерывами 0,9 с. Испытание на ползучесть проводили с приложением статической нагрузки в форме шаговой функции и удержании ее в течение 1000 с. И в том и в другом случае испытания осуществляли в режиме контролируемого нагружения. Нагрузка выбиралась такой, чтобы горизонтальная упругая деформация и ее накопление не выходили за рамки линейной вязкоупругой области. Прочность при расколе определяли при скорости деформирования образца 50 мм/мин. За начальные значения исследуемых показателей принимали значения, полученные для кернов из дорог, эксплуатировавшихся в течение 1-2 лет.

Для большинства исследованных дорог (12 участков) **модуль упругости с увеличением времени их эксплуатации снижался (!)**, что свидетельствовало о накоплении микроповреждений. То же происходит и с показателем РЭ.

---

<sup>3</sup> FE – англ. fracture energy.

Фундаментальность работы [7] заключается в том, что исследования были проведены не на лабораторных образцах, а на кернях, отобранных из покрытий дорог, находящихся в эксплуатации в течение разного времени.

Недавно, в Гайнесвилльском университете (шт. Флорида США) было выполнено исследование склонности асфальтобетона разных составов к старению [9]. Авторы оценивали изменение сопротивления асфальтобетона верхнего слоя покрытия воздействию транспорта в результате старения по критерию  $FE$ . Чем выше значение  $FE$ , тем лучше материал сопротивляется растрескиванию. Данный показатель позволяет надежнее фиксировать растрескивание покрытия [10]. Его значения после прогрева образцов в сушильном шкафу (моделирование долговременного окислительного старения) оказались выше, чем для кернов, что указывает на более агрессивный характер полевых условий. Было обследовано 22 участка по программе «Суперпейв» в возрасте от 6 до 12 лет. На 25-56% участков коррозионные повреждения отсутствовали, при этом на 46-76% участков отслаивание также не наблюдалось. На основе этих данных выстроили концепцию определения соответствующего значения  $FE$ . Выяснилось, что значение этого показателя после долговременного окислительного старения в лаборатории выше, чем от влияния движения на водонасыщенный асфальтобетон. Было предложено дополнить лабораторную процедуру долговременного окислительного старения воздействием давления на образец в присутствии воды. Это позволило бы смоделировать циклическое сжатие водонасыщенного асфальтобетона от воздействия транспорта.

Заметим, что в СССР еще в начале 70-х годов в Гипродорнии под руководством А.В. Руденского проводились исследования поведения асфальтобетона, находящегося во влажном состоянии, под воздействием циклических нагрузок, показавшие снижение выносливости [11].

В упомянутой работе [9] испытывали образцы, приготовленные на следующих типах щебня:

1. гранитном;
2. известняковом;
3. гранитном, обработанном гидратной известью.

После технологического старения выносливость асфальтобетона на гранитном щебне оказалась почти в три раза выше, чем у асфальтобетона на известняковом щебне ( $4,2 \text{ кДж/м}^3$  против  $1,5 \text{ кДж/м}^3$ ). А у асфальтобетона на гранитном щебне, обработанном гидратной известью, выносливость оказалась близкой к первому составу ( $3,3 \text{ кДж/м}^3$ ). Долговременное старение снизило выносливость для первого состава почти в 2 раза (до  $2,2 \text{ кДж/м}^3$ ).

Итак, нисходящее растрескивание связано с накоплением микродефектов в верхнем слое покрытия под воздействием транспорта и снижением сопротивляемости асфальтобетона растягивающим напряжениям в результате старения. Такая трактовка позволяет объяснить положительное влияние поверхностной обработки покрытия и его пропитки омолаживающим составом.

Отсутствие в отечественной научно-технической литературе информации о явлении нисходящего растрескивания вероятно связано с тем, что в России срок службы верхнего слоя асфальтобетонного покрытия установлен в количестве 3-4 лет. За этот промежуток времени накопление микродефектов в нем не происходит, и старения не наблюдается.

## ВЫВОДЫ

1. Нисходящее растрескивание возникает в верхнем слое покрытия и распространяется до его подошвы.
2. Нисходящее растрескивание связано с накоплением микродефектов в верхнем слое покрытия под воздействием транспорта и снижением сопротивляемости асфальтобетона растягивающим напряжениям в верхней части слоя в результате старения.
3. В российской научно-технической литературе нет информации о явлении нисходящего растрескивания из-за отсутствия его идентификации. Это связано с занижением срока службы верхнего слоя покрытия.
4. В условиях штата Флорида США нисходящее растрескивание возникает через 7-11 лет эксплуатации покрытия.
5. Из-за отсутствия сцепления между верхним и нижележащим слоями покрытия существенно ускоряется начало процесса нисходящего растрескивания.
6. В ГОСТ 12801, раздел «Изготовление образцов», следует ввести процедуру лабораторного технологического старения асфальтобетонных образцов, а также включить раздел «Определение характеристик асфальтобетона после длительного старения», аналогично требованиям «Суперпейв».
7. Анализ результатов исследований, проведенных в США, показывает перспективность использования энергетического критерия разрушения асфальтобетона для оценки степени старения покры-

тия и эффективности омолаживания последнего методами пропитки и горячей регенерации.

8. Целесообразно наладить выпуск датчиков поперечной деформации цилиндрического образца, испытываемого на раскол.

## *ЛИТЕРАТУРА*

1. Бахрах Г.С. К вопросу влияния старения на срок службы асфальтобетонного покрытия, регенерированного горячим способом / Г.С. Бахрах // ДОРОГИ И МОСТЫ. – 2007. – Вып. 18/2. – С. 179-190.
2. Бахрах Г.С. Старение асфальтобетона уменьшает срок службы дорожной одежды / Г.С. Бахрах // Дороги России XXI века. – 2009. – № 5. – С. 97-101.
3. *Practice for Short and Long Term Ageing of Hot Mix Asphalt / American Association of State Highways and Transportation Officials // AASHTO Designation PP2, 1994.*
4. Передовой зарубежный опыт. Горячие асфальтобетонные смеси, материалы, подбор составов смесей и строительство автомобильных дорог в Северной Америке: пер. с англ. / Росавтодор / NCAT / NAPA. – 2009. – 3-е изд. – 411 с.
5. Бахрах Г.С. Старение асфальтовых покрытий и пути его замедления / Г.С. Бахрах // Труды Гипродорнии. – 1974. – Вып. 9.: Дорожно-строительные материалы. – С. 84-96.
6. Roque R.B. et al. Development and Field Evaluation of Energy-Based Criteria for Top-Down Cracking Performance of Hot Mix Asphalt / R.B. Roque et al. // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. – 2004. – Vol. 73. – P. 229-255.
7. Zou J. et al. Long-Term Field Evaluation and Analysis of Top-Down Cracking for Superpave Projects / J. Zou et al. // Road Materials and Pavement Design. – 2013. – P. 831-846.
8. Бахрах Г.С. Эволюция методов оценки выносливости асфальтобетона / Г.С. Бахрах // ДОРОГИ И МОСТЫ. – 2016. – Вып. 18/2. – С. 179-190.

9. Isola M. et al. *Development and Evaluation of Laboratory Conditioning Procedures to Simulate Mixture Property Changes Effectively in the Field* / M. Isola et al. // TRR. – 2014. – № 2447. – P. 74-82.
10. Roque R.B. et al. *Continuation of Superpave Projects Monitoring* / R.B. Roque et al. // Final Report. Florida Department of Transportation, Tallahassee and University of Florida, Gainesville. – 2011.
11. Руденский А.В. *Исследование водоустойчивости битумоминеральных материалов* / А.В. Руденский, И.М. Горшков // Труды Гипродорнии. – 1973. – С. 46-51.

## L I T E R A T U R A

1. Bahrah G.S. *K voprosu vlijanija starenija na srok sluzhby asfal'tobetonnoho pokrytija, regenerirovannogo gorjachim sposobom* / G.S. Bahrah // DOROGI I MOSTY. – 2007. – Vyp. 18/2. – S. 179-190.
2. Bahrah G.S. *Starenie asfal'tobetona umen'shaet srok sluzhby dorozhnoj odezhdy* / G.S. Bahrah // Dorogi Rossii HHI veka. – 2009. – # 5. – S. 97-101.
3. *Practice for Short and Long Term Ageing of Hot Mix Asphalt* / American Association of State Highways and Transportation Officials // AASHTO Designation PP2, 1994.
4. *Peredovoj zarubezhnyj opyt. Gorjachie asfal'tobetonnye smesi, materialy, podbor sostavov smesej i stroitel'stvo avtomobil'nyh dorog v Severnoj Amerike: per. s angl.* / Rosavtodor / NCAT / NAPA. – 2009. – 3-e izd. – 411 s.
5. Bahrah G.S. *Starenie asfal'tovyh pokrytij i puti ego zamedlenija* / G.S. Bahrah // Trudy Giprodornii. – 1974. – Vyp. 9.: Dorozhno-stroitel'nye materialy. – S. 84-96.
6. Roque R.B. et al. *Development and Field Evaluation of Energy-Based Criteria for Top-Down Cracking Performance of Hot Mix Asphalt* / R.B. Roque et al. // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. – 2004. – Vol. 73. – P. 229-255.
7. Zou J. et al. *Long-Term Field Evaluation and Analysis of Top-Down Cracking for Superpave Projects* / J. Zou et al. // Road Materials and Pavement Design. – 2013. – P. 831-846.
8. Bahrah G.S. *Jevoljucija metodov ocenki vynoslivosti asfal'tobetona* / G.S. Bahrah // DOROGI I MOSTY. – 2016. – Vyp. 18/2. – S. 179-190.
9. Isola M. et al. *Development and Evaluation of Laboratory Conditioning Procedures to Simulate Mixture Property Changes Effectively in the Field* / M. Isola et al. // TRR. – 2014. – # 2447. – P. 74-82.



10. Roque R.B. et al. *Continuation of Superpave Projects Monitoring / R.B. Roque et al. // Final Report. Florida Department of Transportation, Tallahassee and University of Florida, Gainesville. – 2011.*
11. Rudenskij A.V. *Issledovanie vodoustojchivosti bitumomineral'nyh materialov / A.V. Rudenskij, I.M. Gorshkov // Trudy Giprodornii. – 1973. – S. 46-51.*

---

**ASPHALT CONCRETE AGING AND TOP-DOWN CRACKING  
IN UPPER ROAD PAVEMENT LAYER**

*Ph. D. (Tech.)* **G.S. Bakhrakh**  
(FAI «ROSDORNII»)

*Contact information:* bakhrakh35@mail.ru

*The phenomenon of top-down cracking in upper road pavement layer is regarded. The results of the research on this problem, which carried out in the State of Florida (USA), have been analyzed. It is shown that this phenomenon is caused by the decrease of the asphalt concrete resistance to tensile strains resulted from moving transport due to bitumen aging in the layer and microdefects accumulation. To evaluate the asphalt concrete aging degree an energy criterion can be used.*

**Key words:** *top-down cracking, asphalt concrete aging, creep compliance, fracture energy criterion.*

---

Рецензент: канд. техн. наук Л.А. Горельшева (ФАУ «РОСДОРНИИ»).  
Статья поступила в редакцию: 28.09.2016 г.