УДК 625.855.3

ОЦЕНКА СОПРОТИВЛЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА ПЛАСТИЧЕСКОМУ КОЛЕЕОБРАЗОВАНИЮ

Канд. техн. наук **Г.С. Бахрах**
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)
Конт. информация: bakhrakh35@mail.ru

Рассмотрено современное состояние методов оценки сопротивления асфальтобетона колееобразованию. Приведены результаты оценки усовершенствованного метода испытания, предложенного в США.

Ключевые слова: *дорожная одежда, асфальтобетон, микродеформация, пластичное колееобразование, повторное нагружение.*

За последние десять лет в технической литературе по дорожной отрасли и в России, и за рубежом появилось большое число публикаций, связанных с колейностью на дорогах с покрытием нежесткого типа.

На IV Международной конференции «Применение разновидных дорожных асфальтобетонов в России» проф. Ю. Кузнецов (МАДИ) отметил, что основной причиной смертельных случаев на дорогах в сравнении с другими неровностями является колея **[1]**.

Появление колей может быть обусловлено не одной, а несколькими причинами. В данной статье речь пойдет о колее пластичности в пакете асфальтобетонных слоев.

При проектировании конструкции дорожной одежды с асфальтобетонными слоями или назначении ремонтных работ важно выбрать асфальтобетон, хорошо сопротивляющийся колееобразованию без существенного ущерба для других нормируемых свойств. Предложены различные составы асфальтобетона с повышенным сопротивлением колееобразованию. В этом вопросе важно уметь оценивать данное свойство асфальтобетона.

В статье **[2]** Г.Н. Кирюхин описывает различные методы оценки колееустойчивости асфальтобетона. Он приходит к неутешительному выводу, что пока предлагаемые методы испытания не дают однозначного соответствия получаемых результатов реальному колееобразованию на дорогах и предпочитает расчетный метод, предложенный в СТО **[3]**.

В Приложении *Г* данного СТО сравниваются показатели асфальтобетонных образцов двух составов, отличающихся типом гранулометрии и видом песка: в первом случае природного, а во втором – из отсева дробления. Показатели нормируемых свойств асфальтобетона этих составов мало чем отличаются, а ожидаемая глубина пластичности составила в первом случае 21 мм, а во втором – 0,05 мм, т.е. в 400 раз меньше! Такая разница вызывает большое недоумение.

Исследования, проведенные в США, показали, что наилучшую корреляцию с полевыми условиями дает метод испытания повторным нагружением **[4]**. Испытания проводят в основном на *сдвиг* и на *центральное сжатие.*

AASHTO TP 79 особенно рекомендует метод определения *числа текучести* (flow number, FN). Это испытание называют также *испытанием на постоянную деформацию при повторном нагружении* (Incremental Repeated Load Permanent Deformation (iRLPD) Test). Оно моделирует прохождение тяжелого транспорта по дороге. Число текучести является числом циклов нагрузки, которое может выдержать асфальтобетон до *состояния текучести*. В свою очередь, состояние текучести представляет собой деформацию сдвига при постоянном объеме. Кроме того, FN-испытание позволяет оценить рост остаточной деформации асфальтобетона в механико-эмпирическом методе проектирования конструкции дорожной одежды – *MEPDG*[1]. Процедура испытания подробно описана в отчете № 465 NCHRP[2].

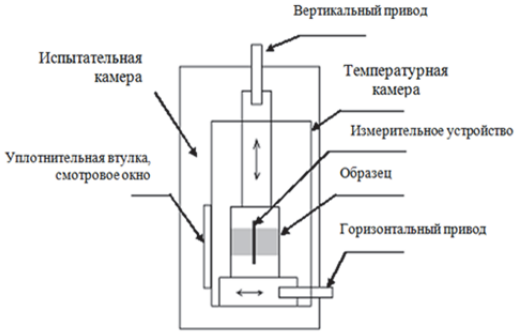
Испытание может проводиться с *ограничивающим давлением* или *без ограничивающего давления*. В первом случае испытание больше соответствует полевым условиям, что позволяет лучше прогнозировать степень колееобразования.

Испытанию подвергают образцы-цилиндры диаметром 150 мм и высотой 50 мм. Торцы образца приклеивают эпоксидным клеем к верхней и нижней плитам прибора. Цикл нагружения составляет 0,1 с импульсной полусинусоидальной нагрузкой и 0,9 с покоя. Нагрузка повторно прикладывается к образцу обычно до 10000 циклов (2,8 ч). На **рис. 1** показано испытание на сдвиг в установке *Superpave (SST)* **[5].**

---

[1] англ. MEPDG – Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide.
[2] англ. NCHRP – National Cooperative Highway Research Program.

а) *б)*



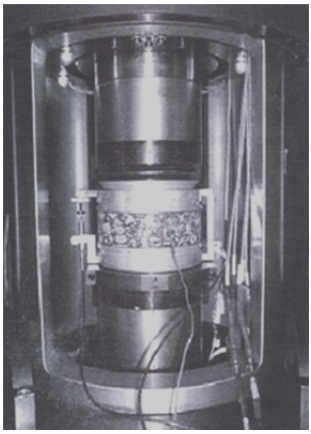


Рис. 1. Испытательная установка на сдвиг Superpave (SST):
а) схема испытания; б) нагруженный образец

Несмотря на многочисленные исследования, убедительные параметры колееобразования, позволяющие использовать аналитические методы, до сих пор не найдены. В этом плане представляет определенный интерес работа, выполненная в Лаборатории передовых дорожных исследований Национального института стандартов и технологий *(AASHTO Advanced Pavement Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology)* США **[6].** В качестве недостатков метода FN-испытания авторы отмечают необходимость выбора температуры и осевого напряжения, так как в *AASHTO TP 79* они точно не указаны. Не приводится критическое значение FN, позволяющее отбраковывать испытываемые составы. Неизвестно примерное число циклов до достижения асфальтобетоном состояния текучести. Обычно оно составляет сотни циклов, но в некоторых случаях недостаточно и 10000 циклов. Наконец, недостаточно испытания при одной температуре и одном уровне напряжения, так как на глубину колеи влияет сочетание этих факторов.

В рассматриваемой работе **[6]** за основу была принята концепция консолидации грунта под воздействием нагрузок различной интенсивности *(Terzaghi K. and others, 1996)*, и предложена новая процедура испытания *iRLPD*. Образцы подвергаются трем дополнительным 500-цикловым повторным воздействиям (по 25 мин. каждый) увеличивающейся нагрузки: 400, 600 и 800 кПа при расчетной температуре покрытия 50-процентной надежности или 60 ^{o}C. Результатом испытания является *единица колееобразования* – минимальная деформация (minimum strain rate, *MSR)* в мк/цикл, возрастающая в каждом испытании. Значе-

ния течения при различных уровнях напряжения используют для развития MSR. Это испытание объясняет высокотемпературное поведение асфальтобетона при разных климатических и транспортных условиях. Особенностью анализа результатов *iRLPD-испытания* является зависимость *MSR* от комбинации температуры *T* (°C) и напряжения *P* (МПа). Компьютерный «мастер кривых» подсказал функцию с наилучшим приближением для *MSR:*

$$MSR = 0{,}001TP^{b} \quad , \qquad \textbf{(1)}$$

где

b – силовой коэффициент, получаемый из наклона кривой *MSR(TP).*

Этот коэффициент можно использовать для ранжирования асфальтобетонных смесей по сопротивлению колееобразованию. Чем выше значение *b*, тем податливее асфальтобетон.

Для интерпретации значений *MSR* были использованы результаты исследований, опубликованные в работе **[7]**, в которой детально проанализировано полевое накопление глубины колеи с учетом почасовой температуры покрытия.

По результатам определения *MSR* при уровне напряжения 600 кПа для асфальтобетона из девяти проектных смесей была сделана удачная попытка предсказания колеи глубиной 12,5 мм на соответствующих участках дорог с приложением эквивалентной стандартной нагрузки на ось 80 кН в количестве $3{\cdot}10^6$, $10{\cdot}10^6$ и $30{\cdot}10^6$. Для этих участков была рассчитана эксплуатационная температура воздуха (более 10 °C), соответствующая 50-процентной надежности ($PG_{50\%}$), по формуле:

$$PG_{50\%} = 23{,}2 + 14DD - 0.96DD^{2} \quad , \qquad \textbf{(2)}$$

где

DD – градусо-день с температурой > 10 °C.

Для выбранных участков она оказалась в пределах 49-63 °C. При расчете *MSR* температуру принимали на 6 °C ниже значения $PG_{50\%}$, что соответствовало температуре покрытия на глубине 2 см. Продолжительность воздействия рассчитанной температуры принималась в течение трех месяцев (коэффициент 3/12 = 0,25) и по пять часов в сутки (коэффициент 5/24 = 0,208). Коэффициент распределения следов колеса по 3-х метровой полосе движения принимали равным 0,33. С использованием коэффициента 0,5 учитывали также фактор старения асфальтобетона, так как значения *MSR* для всех исследованных смесей снижались после долговременного лабораторного старения (от 0,3 до 0,6).

В **табл. 1** авторами **[6]** предлагаются рекомендуемые значения MSR для разных уровней движения.

Таблица 1

Рекомендуемые значения MSR

Категория движения	***Уровень движения (суммарное число приложений нагрузки ESAL[1], 10^6)***	***Критическое значение MSR, мк/цикл***
1	от 1 до 3	от 16 до 24
2	от 3 до 10	от 10 до 16
3	от 10 до 30	от 3 до 10
4	> 30	< 3

Примечание: *[1] англ. Equivalent Standard Axle Load (эквивалентная стандартная нагрузка на ось, равная 80 кН)*

Для оценки запроектированной смеси необходимо сравнить значение ее MSR с рекомендуемым в **табл. 1** значением. По формуле **(3)** можно также определить какой уровень движения такая смесь выдержит:

$$ESAL = 48{,}46e^{-0{,}164MSR} \quad . \qquad \textbf{(3)}$$

Анализ показал, что только две смеси из девяти соответствовали уровню движения. Была предсказана глубина колеи через год и 20 лет эксплуатации участков дорог. В двух случаях предсказанные через год глубины колеи не совпали с фактическими глубинами. Авторы связывают это с неадекватным учетом коэффициента старения асфальтобетона.

Отмечаются следующие преимущества *iRLPD-испытания* по сравнению со стандартным *FN-испытанием*:

а) экономия затрачиваемого времени на испытание;
б) получение существенно большей информации для оценки сопротивления асфальтобетона колееобразованию;
в) результаты испытания могут быть напрямую приложены к полевым условиям, так как параметры испытания им соответствуют;
г) установлены нормативные значения единицы колееобразования для различных уровней движения;
д) результаты испытания подтверждены наблюдением в полевых условиях.

Предложенный в США усовершенствованный метод определения сопротивления асфальтобетона колееобразованию представляет несомненный интерес и может быть рекомендован для апробации в России.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лисанов Е. Новые перспективы асфальтобетонных покрытий / Е. Лисанов // Автомобильные дороги. – 2017. – № 6. – С . 37-38.*
2. *Кирюхин Г.Н. Методы анализа колейности асфальтобетонных покрытий / Г.Н. Кирюхин // Автомобильные дороги. – 2017. – № 6.– С. 98-102.*
3. *СТО ГК «Трансстрой» 007-2007. Асфальтобетон. Метод оценки устойчивости к образованию колеи пластичности (Актуализировано 01.01. 2018). – М., 2007. – 20 с.*
4. *Braun E.R. Evaluation of Rutting Performance on 2000 NCAT Test Track / E.R. Braun, B. Prowell. L.A. Cooley, Jr. J. Zhang, R.B. Powell // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. – 2004. – Vol. 73. – PP. 287-336.*
5. *Передовой зарубежный опыт. Горячие асфальтобетонные смеси, материалы, подбор составов смесей и строительство автомобильных дорог в Северной Америке / Росавтодор / NCAT / NAPA. – 3-е издание. – Перевод с англ. яз. – 2009. – 411 с.*
6. *Azari H. Permanent Deformation Characterization of Asphalt Mixtures by Using Incremental Repeated Load Testing / H. Azari, A. Mohseni // TRR. – 2013. – No. 2373. – PP. 134-1427.*
7. *Mohseni A. Development of Superpave High-Temperature Performance Grade (PG) Based on Rutting Damage / A. Mohseni, S. Carpenter, J. D'Angelo // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. – 2005. – Vol. 74. – PP. 197-253.*

LITERATURA

1. *Lisanov E. Novye perspektivy asfaltobetonnyh pokrytij / E. Lisanov // Avtomobilnye dorogi. – 2017. – № 6. – S. 37-38.*
2. *Kiryuhin G.N. Metody analiza kolejnosti asfaltobetonnyh pokrytij / G.N. Kiryuhin // Avtomobilnye dorogi. – 2017. – № 6.– S . 98-102.*
3. *STO GK «Transstroj» 007-2007 Asfaltobeton. Metod ocenki ustojchivosti k obrazovaniyu kolei plastichnosti (aktualizirovano 01.01.2018) – M., 2007. – 20 s.*

4. *Braun E.R. Evaluation of Rutting Performance on 2000 NCAT Test Track / E.R. Braun, B. Prowell. L.A. Cooley, Jr. J. Zhang, R.B. Powell // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. – 2004. – Vol. 73. – PP. 287-336.*
5. *Peredovoj zarubezhnyj opyt goryachie asfaltobetonnye smesi materialy podbor sostavov smesej i stroitelstvo avtomobilnyh dorog v Severnoj Amerike / Rosavtodor / NCAT / NAPA. – 3-e izdanie. – Perevod s angl. yaz. – 2009. – 411 s.*
6. *Azari H. Permanent Deformation Characterization of Asphalt Mixtures by Using Incremental Repeated Load Testing / H. Azari, A. Mohseni // TRR. – 2013. – No. 2373. – PP. 134-1427.*
7. *Mohseni A. Development of Superpave High-Temperature Performance Grade (PG) Based on Rutting Damage / A. Mohseni, S. Carpenter, J. D'Angelo // Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. – 2005. – Vol. 74. – PP. 197-253.*

EVALUATION OF ASPHALT CONCRETE PLASTIC RUTTING RESISTANCE

Ph. D. (Tech.) ***G.S. Bakhrakh***
(FAI «ROSDORNII»)
Contact information: bakhrakh35@mail.ru

The current state of methods for evaluating the asphalt concrete resistance to rutting is considered. The evaluation results of an improved test method, proposed in the United States, are presented.
Key words*: road pavement, asphalt concrete, microdeformation, plastic rutting, repeated loading.*

Рецензент: д-р техн. наук А.В. Руденский (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 17.01.2019 г.