

Техника и технология транспорта: научный Интернет-журнал <http://www.transport-kgasu.ru>  
2019. № 11 [http://transport-kgasu.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10&Itemid=2](http://transport-kgasu.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=2)  
URL статьи: <http://transport-kgasu.ru/files/N11-38CTC19.pdf>

Статья опубликована 25.05.2019

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Смирнов Д.С., Лобанова А.С. Исследование пластического колееобразования дорожных покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона в Республике Татарстан // Техника и технология транспорта. 2019. № 11. С. 38. URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N11-38CTC19.pdf>

УДК 691.16

**Смирнов Д.С.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: denis27111974@yandex.ru

**Лобанова А.С.** – студент

E-mail: lobangelina@icloud.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Россия

### **Исследование пластического колееобразования дорожных покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона в Республике Татарстан**

#### **Аннотация**

С ростом интенсивности движения на автомобильных дорогах нужно предотвращать образование колеи на этапе проектирования, однако это очень затратно. Колеи образуются вследствие повышения пластичности, то есть снижения структурной вязкости асфальтобетона. Выявление наиболее сдвигоустойчивого образца щебеночно-мастичного асфальтобетона согласно методу прогнозирования колеи пластичности. Методы одноосного сжатия и Маршалла рассматривают накопление остаточных деформаций как следствие свойств асфальтобетона.

**Ключевые слова:** пластическое колееобразование, покрытие из щебеночно-мастичного асфальтобетона, нагрузка, дорожная одежда, сдвигоустойчивость образца.

Пластические деформации покрытия являются причиной 30-40% случаев образования колеи на асфальтобетонных покрытиях, которые состоят в накоплении вертикальных остаточных деформаций вследствие повышения пластичности, то есть снижения структурной вязкости асфальтобетона при высоких температурах, которое, в свою очередь, происходит из-за снижения вязкости битума или вязкого сопротивления битума сдвигу [1].

Учитывая рост интенсивности движения на автомобильных дорогах, целесообразно было бы предотвращать вероятность образования колеи на этапе проектирования. К сожалению, в данный момент единственный способ устранить колею на дороге, является очень затратным. Процесс колееобразования уже давно стал основным фактором, вызывающим преждевременное ухудшение транспортно-эксплуатационного состояния ниже предельно-допустимых значений на большинстве автомобильных и городских дорог с высоким уровнем загрузки. Негативная тенденция состоит не только в том, что процесс образования колеи на проезжей части дорог общего пользования прогрессирует соразмерно увеличению интенсивности движения и увеличение осевых нагрузок, но и в том, что многие работники дорожной отрасли, считают данный процесс непредотвратимым. Другими словами, зачастую полагается, что колееобразование абсолютно неизбежно, и «победить» его можно только путем более частых ремонтных мероприятий, в том числе и внеплановых, проводимых ранее окончания нормативных сроков службы дорожных одежд и покрытий.

**Объект исследования:** пластическое колееобразование щебеночно-мастичного асфальтобетона в Республике Татарстан.

**Предмет исследования:** метод прогнозирования колеи пластичности.

**Цели:**

1. Изучение метода прогнозирования колееобразования в покрытии.
2. Соответствие методики прогнозирования к фактическим значениям образования колеи на дорогах в Республике Татарстан.

Для решения поставленной цели требуется решение следующих **задач**:

1. Проведение лабораторных испытаний, анализ полученных результатов.

**Научная новизна работы заключается** в выявлении наиболее сдвигоустойчивого образца щебеночно-мастичного асфальтобетона согласно методу прогнозирования колеи пластичности.

**Определение характеристик сдвигоустойчивости асфальтобетона в лаборатории.**

Испытания образцов проводились согласно нормативным документам [2].

Для проведения испытаний были выбраны образцы щебеночно-мастичного асфальтобетона с номинальным максимальным размером зерен каменного материала в диапазоне от 5 до 20 мм. Вяжущим материалом являлись ПБВ 60 и БНД 60/90. В ходе испытаний при одноосном сжатии и при сжатии по методу Маршалла были получены следующие **результаты**, представленные в табл. 1, табл. 2.

Таблица 1

	ЩМА-15 БНД 60/90	ЩМА-20 БНД 60/90	ЩМА-15 на ПБВ 60	ЩМА-20 на ПБВ 60
Среднее значение работы разрушения, Дж $A_c$	6,46 Дж	5,9 Дж	7,3 Дж	7,15 Дж
Среднее значение работы разрушения, Дж $A_m$ . По схеме Маршалла	122 Дж	65,9 Дж	139,7 Дж	116 Дж

Таблица 2

	ЩМА-15 БНД 60/90	ЩМА-20 БНД 60/90	ЩМА-15 на ПБВ 60	ЩМА-20 на ПБВ 60
Предел прочности при + 20°C $R_{20}$	3,88	3,14	3,6	3,29
Предел прочности при + 50°C $R_{50}^3$	0,72	0,75	0,7	0,67
Коэффициент пластичности, m	0,241401277	0,231862764	0,300437812	0,198151415
Энергия активации, U	183,1831319	162,1356953	143,1037623	210,8473467
Среднее значение предела прочности при сжатии, МПа $R_{50}^{50}$	1,42	1,44	1,63	1,17
Коэффициент внутреннего трения асфальтобетона, МПа tgφ	0,98	0,97	0,98	0,98
Показатель сцепления при сдвиге, МПа Сл	0,246133333	0,2544	0,282533333	0,2028

Формулы для расчета показателей из табл. 2, на примере ЩМА-15 на БНД 60/90:

$$tg\varphi = \frac{3(A_m - A_c)}{3A_m - 2A_c} = 0,98, \quad (1)$$

$$C_n = \frac{1}{6}(3 - 2tg\varphi)R_{50}^{50} = 0,24 \text{ МПа}, \quad (2)$$

$$m = \frac{\ln R_{50}^{50} - \ln R_{50}^3}{(\ln 50 - \ln 3)} = \frac{\ln 1,42 - \ln 0,72}{(\ln 50 - \ln 3)} = 0,24, \quad (3)$$

$$U = \frac{26,254(\ln R_{20}^3 - \ln R_{50}^3)}{m} = \frac{26,254(\ln 3,88 - \ln 0,72)}{0,24} = 183,18. \quad (4)$$

### Климатические параметры в расчетах сдвигоустойчивости дорожных покрытий

Для Республики Татарстан (Казань) абсолютный максимум и минимум температуры воздуха  $T_{max}$   $T_{min}$  и составляет:

$$T_{max} = + 38^{\circ}\text{C} \quad T_{min} = - 33^{\circ}\text{C}.$$

Находим максимальную и минимальную расчетную температуру асфальтобетонного покрытия:

$$T_{n+} = -0,0306 * T_{max}^2 + 3,8701 * T_{max} - 39 = -0,0306 * 1444 + 3,8701 * 38 - 39 = 61,5^{\circ}\text{C}, \quad (5)$$

$$T_{n-} = 0,859T_{min} + 1,7 = -26,7^{\circ}\text{C}. \quad (6)$$

Вычисляем вероятности работы покрытия при конкретных температурах:

$$P(-20^{\circ}) = \frac{T - T_{n+} + 2}{12(T_{n+} - T_{n-} - 8)} = \frac{-20 - (26,7) + 2}{12(61,5 - (-26,7) - 8)} = 0,0089. \quad (7)$$

$$P(-10^{\circ}) = \frac{1}{(T_{n+} - T_{n-} - 8)} = \frac{1}{(61,5 - (-26,7) - 8)} = 0,0124. \quad (8)$$

$$P(60^{\circ}) = \frac{1}{(T_{n+} - T_{n-} - 8)} - \frac{T - T_{n+} + 2}{12(T_{n+} - T_{n-} - 8)} = \frac{1}{(61,5 - (-26,7) - 8)} - \frac{60 - (61,5) + 10}{12(61,5 - (-26,7) - 8)} = 0,0036. \quad (9)$$

### Расчет критерия сдвигоустойчивости дорожных покрытий

В соответствии с ОДМ «Рекомендации по выявлению и устранению колея на нежестких дорожных одеждах», утвержденным распоряжением Росавтодора № ОС-440-Р от 17.05.2002 г., суммарная остаточная деформация асфальтобетона, накапливаемая за расчетный период эксплуатации покрытия, определяется по следующей зависимости:

$$\gamma_n = K_{кол} t_p N_{t1\gamma l} * \left( \frac{\tau_{max} - p t g \varphi}{C_l} \right)^{1/m} \int_{T_{n-}}^{T_{n+}} P(T) \exp \left[ -\frac{U}{R} \left( \frac{1}{273,15+T} - \frac{1}{T_l} \right) \right] dT, \quad (10)$$

где  $\gamma_n$  – остаточная относительная деформация асфальтобетона, накопленная в слое покрытия за срок эксплуатации;

$K_{кол}$  – коэффициент, учитывающий вероятность прохождения колес автомобилей по одному следу;

$t_p$  – расчетный срок службы асфальтобетонного покрытия, в ч;

$N$  – интенсивность движения расчетных автомобилей по одной полосе, авт/ч;

$t_1$  – среднее время действия колесной нагрузки на асфальтобетонное покрытие при проходе одного расчетного автомобиля, с;

$\gamma_{л}^*$  – градиент скорости необратимого сдвига при испытании асфальтобетонных образцов в лаборатории,  $\text{с}^{-1}$ ;

$t_{max}$  – максимальное касательное напряжение, МПа;

$p$  – удельное давление от расчетной нагрузки, МПа;

$t g j$  – коэффициент внутреннего трения асфальтобетона;

$C_l$  – показатель сцепления асфальтобетона по ГОСТ 12801-98, МПа;

$m$  – коэффициент пластичности;

$T_n, T_{n+}$  – соответственно минимальная и максимальная расчетная температура покрытия, °С;

$P(T)$  – частотное распределение или вероятность температуры покрытия в течение эксплуатации;

$U$  – энергия активации вязкопластичного деформирования и разрушения асфальтобетона, кДж/моль;

$R$  – газовая постоянная, 0,008314 кДж/°К моль;

$T, dT$  – переменная температура и приращение температуры покрытия, °С;

$T_n$  – абсолютная температура испытания образцов асфальтобетона в лаборатории, 323,15 °К = 50 °С;

$p = 0,7$  МПа.  $\tau_{\max} = 0,75$  МПа.  $t_l = 0,1$  с. Приняты в соответствии с ОДМ [2].

Интенсивность движения расчетного автомобиля по одной полосе  $N$  назначают исходя из перспективной интенсивности движения по СП 34.13330.2012  $N=150$ .

Градиент скорости необратимого сдвига  $\gamma_n^*$  при испытании цилиндрических асфальтобетонных образцов высотой 71,4 мм на сжатие при скорости 50 мм/мин принимается равным:

$$\gamma_n^* = \frac{1}{3} * \frac{50}{71,4} * \frac{1}{60} = 0,0039c^{-1}. \quad (11)$$

Расчетный срок службы покрытия  $t_p$  определяется по формуле:

$$t_p = 4года * 8760часов в году = 35040 часов.$$

Коэффициент, учитывающий вероятность прохождения колес автомобилей по одному следу:  $K_{кол} = 0,2$ .

Для каждого вида асфальтобетона приведем расчеты пластической деформации для температур покрытия: 60°С, 10°С и -20°С.

Рассмотрим пример для ЩМА-15 БНД:

$$\begin{aligned} \gamma_n = 0,2 * 35040 * 150 * 0,1 * 0,0039 * \left( \frac{0,75 - 0,7 * 0,98}{0,24} \right)^{1/0,24} * 0,0036 * \\ * \exp \left\{ - \frac{183,18}{0,008314} * \left( \frac{1}{273,15 + 60} - \frac{1}{323,15} \right) \right\} = 0,043, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \gamma_{n2} = 0,2 * 35040 * 150 * 0,1 * 0,0039 * \left( \frac{0,75 - 0,7 * 0,98}{0,24} \right)^{1/0,24} * 0,0124 * \\ * \exp \left\{ - \frac{183,18}{0,008314} * \left( \frac{1}{273,15 + 10} - \frac{1}{323,15} \right) \right\} = 0,149, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \gamma_{n3} = 0,2 * 35040 * 150 * 0,1 * 0,0039 * \left( \frac{0,75 - 0,7 * 0,98}{0,24} \right)^{1/0,24} * 0,0089 * \\ * \exp \left\{ - \frac{183,18}{0,008314} * \left( \frac{1}{273,15 + (-20)} - \frac{1}{323,15} \right) \right\} = 0,107. \end{aligned} \quad (14)$$

Находим сумму пластических деформаций:

$$\sum \gamma_n = \gamma_{n1} + \gamma_{n2} + \gamma_{n3} = 0,043 + 0,149 + 0,107 = 0,299. \quad (15)$$

Исходя из условия, что допустимая пластическая деформация определяется по формуле:

$$\gamma_{доп} = \frac{2\delta_{доп}L}{h^2}. \quad (16)$$

Ожидаемая глубина колеи пластичности к расчетному сроку службы: для ЩМА -15 БНД 60/90 составит:

$$\delta = \frac{9*60^2*0,299}{2*1000} = 4,86 \text{ мм},$$

для ЩМА -20 БНД 60/90 составит:

$$\delta = \frac{9 \cdot 60^2 \cdot 0,255}{2 \cdot 1000} = 4,14 \text{ мм},$$

для ЩМА -15 ПБВ 60 составит:

$$\delta = \frac{9 \cdot 60^2 \cdot 0,362}{2 \cdot 1000} = 5,87 \text{ мм},$$

для ЩМА -20 ПБВ 60 составит:

$$\delta = \frac{9 \cdot 60^2 \cdot 0,321}{2 \cdot 1000} = 5,20 \text{ мм}.$$

### Вывод

Было выяснено, что на образование колеи очень сильно влияет коэффициент, учитывающий вероятность прохождения колес по одному следу и среднее время действия колесной нагрузки при проходе одного автомобиля. Эти величины могут сильно меняться при различных непредусмотренных факторах, которые, к сожалению, спрогнозировать не удастся, например, дорожно-транспортное происшествие или сильный затор. Методы одноосного сжатия и Маршалла рассматривают накопление остаточных деформаций как следствие только свойств асфальтобетона, остальные используемые величины, имеющие сильноизменчивый характер должны быть приведены с большей точностью.

Применение битума, модифицированного полимером, способствует повышению устойчивости к образованию колеи. Однако при использовании метода Маршалла положительный эффект от введения полимера просматривается далеко не однозначно. В итоге, если ориентироваться только на результаты испытаний по Маршаллу, то применение полимерной добавки в данном случае нецелесообразно, что противоречит многочисленным испытаниям.

### Список библиографических ссылок

1. ОДМ «Рекомендации по выявлению и устранению колеи на нежестких дорожных одеждах».
2. СТО-ГК Трансстрой-007-2007 «Асфальтобетон. Метод оценки и устойчивости к образованию колеи пластичности».

**Smirnov D.S.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: denis27111974@yandex.ru

**Lobanova A. S.** – student

E-mail: lobangelina@icloud.com

**Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia**

### The study of plastic cleopatras pavements of stone mastic asphalt concrete in the Republic of Tatarstan

#### Abstract

With the increase in traffic on the roads, it is necessary to prevent the formation of a track at the design stage, but it is very costly. Ruts are formed as a result of increasing plasticity, that is, reducing the structural viscosity of asphalt concrete. The novelty of the work is to identify the most shear-resistant sample of crushed-mastic asphalt concrete according to the method of predicting the ductility gauge. Uniaxial compression and Marshall methods consider the accumulation of residual deformations as a consequence of asphalt concrete properties only.

**Keywords:** plastic rutting, coating of crushed-mastic asphalt, load, road clothing, shear resistance of the sample.

#### Reference list

1. ODM "Recommendations on identification and elimination of ruts on non-rigid road clothes".
2. СТО-ГК Трансстрой-007-2007 "Асфальт. Метод оценки и устойчивости к образованию колеи пластичности".