

УДК 625.72:625.855.3

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА ДЛЯ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Руководитель лаборатории
асфальтобетонов **Г.Ф. Кадыров**,
руководитель лаборатории оценки
транспортно-эксплуатационного состояния
автомобильных дорог **М.Ю. Горский**,
зам. генерального директора **К.А. Жданов**,
канд. экон. наук, генеральный директор **Е.Н. Симчук**
(АНО «НИИ ТСК»)
Конт. информация: kadyrovgf@niitsk.ru

В статье рассмотрены методики, связанные с определением модуля упругости щебеночно-мастичного асфальтобетона. Приведены результаты лабораторных исследований по определению модуля упругости щебеночно-мастичного асфальтобетона с использованием различных методик. Проведен сравнительный анализ модулей упругости щебеночно-мастичных и традиционных (плотных) асфальтобетонов. Даны рекомендации по применению существующих методик определения модулей упругости асфальтобетонов для получения их расчетных характеристик.

Ключевые слова: щебеночно-мастичный асфальтобетон, модуль упругости, расчетные характеристики, лабораторные исследования.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно из теории сопротивления материалов, модуль упругости – это физическая величина, которая характеризует упругое поведение материала при приложении к нему внешней силы в заданном направлении.

Модуль упругости является одной из основных расчетных характеристик асфальтобетонов, в том числе щебеночно-мастичных, используемых при проектировании конструкций нежестких дорожных одежд. Для асфальтобетонов значения модулей упругости принимаются в широком температурном диапазоне от 0°C до 50°C в зависимости от расчетного критерия.

Модули упругости асфальтобетонов, заложенные в нормативных документах, посвященных проектированию дорожных одежд, определялись, согласно методике, представленной в ВСН 46-83 [1], на образцах-балочках. В качестве испытательной установки применялся маятниковый прибор. С момента разработки ВСН 46-83 [1] прошло почти 40 лет, используемые приборы остались в единичных экземплярах, и их масштабное применение стало практически невозможным.

В действующих ранее нормативных документах по проектированию нежестких дорожных одежд [1, 2] модули упругости щебеночно-мастичного асфальтобетона отсутствовали, так как данный материал в нашей стране появился официально только в 2003 г. со вступлением в силу ГОСТ 31015-2002 [3].

В настоящее время в Российской Федерации появились современные приборы и методики испытаний, позволяющие с высокой точностью определить различные свойства асфальтобетона разных видов в широком температурном диапазоне, в том числе и модуль упругости.

***Обзор методик испытаний по определению модуля
упругости асфальтобетонов.
Отечественная методика***

В соответствии с ВСН 46-83 [1] модуль упругости асфальтобетона при температурах от 0 °С до 20 °С определяют по результатам испытаний образцов-балочек. Образцы должны иметь квадратное сечение с высотой и шириной 40 мм и длину 160 мм.

Маятниковый прибор должен обеспечивать возможность приложения нагрузки длительностью действия 0,1 с, с перерывами между нагружениями не менее чем в 10 раз, превышающими продолжительность воздействия нагрузки.

Прибор (рис. 1) представляет собой маятник в виде рычага, жестко укрепленный на каркасе из стальных стержней и передающий через подвижный ролик динамическую нагрузку. К верхней площадке каркаса прикреплен механизм нагружения, а на средней площадке каркаса размещены вращающаяся и неподвижная опоры.

В процессе испытания рычаг с грузом поднимается в верхнее исходное положение и под действием силы тяжести опускается вниз и передает требуемую нагрузку на эксцентрический толкатель. За счет этого к образцу прикладывается кратковременная нагрузка длительностью от 0,1 до 0,2 с.



Рис. 1. Маятниковый прибор для определения модуля упругости асфальтобетона в соответствии с ВСН 46-83

Для повышения точности проведения лабораторных испытаний в качестве испытательной установки в рамках проведения лабораторных испытаний применялась современная универсальная динамическая испытательная установка DTS-130, для которой было изготовлено испытательное устройство, аналогичное устройству, рассмотренному в ВСН 46-83 [1] (рис. 2), и было написано специальное ПО. На начальном этапе были проведены исследования по сопоставительным испытаниям на маятниковом приборе и на установке PAVETEST DTS-130 для сравнения результатов, полученных на разных приборах по единому алгоритму испытаний.

В соответствии ВСН 46-83 [1] испытываемые образцы-балочки размером 160x40x40 мм готовят путем уплотнения асфальтобетонной смеси на прессе в специальных стальных формах. Однако зерна каменного материала в составе асфальтобетона в этом случае всегда дробятся, в результате характеристики асфальтобетона на таких образцах получаются заведомо некорректные. Так, прочность при изгибе на таких образцах снижается в 1,5-2,0 раза по сравнению с образцами с ненарушенной структурой, а получаемые модули упругости ниже, чем в ВСН 46-83 [1] и ОДН 218.046-01 [2] примерно в 8-10 раз.

По этой причине в рамках представленной в данной статье работы все образцы готовились с применением современного вальцового уплотнителя. Это позволило получить значения модулей упругости асфальтобетонов, сопоставимыми со значениями в ВСН 46-83 [1] и ОДН

218.046-01 [2]. На **рис. 3** для сравнения представлены разломы образцов-балочек, уплотненных в стальной форме на прессе и уплотненных на вальцовом уплотнителе с последующий распиловкой.

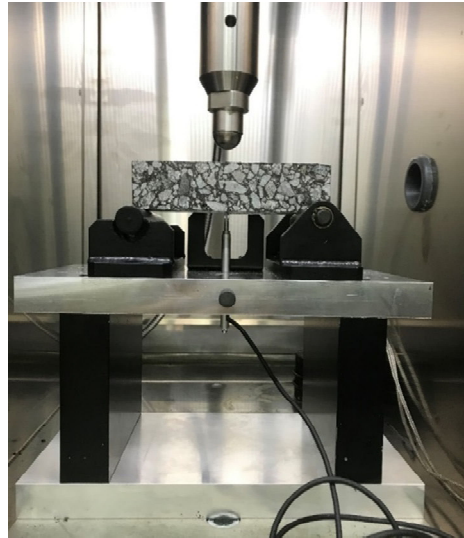


Рис. 2. Универсальная динамическая установка DTS 130 с испытательным устройством для определения модуля упругости асфальтобетона в соответствии с ВСН 46-83



Рис. 3. Сравнение изломов балочек, уплотненных на прессе в стальной форме (по оригинальной методике) и уплотненных на вальцовом уплотнителе

Для определения предела прочности на растяжение при изгибе образцы испытывали на универсальной установке DTS-130 со скоростью деформирования 100 мм/мин при требуемой температуре асфальтобетона. Испытание проводится по схеме трехточечного нагружения аналогично методике, указанной в п. 17 [4] (рис. 4). Данный параметр используют для назначения величины нагрузки, которую применяют для определения модуля упругости (от 20 до 30 % от разрушающей нагрузки в зависимости от температуры испытания).



Рис. 4. Определение предела прочности на растяжение при изгибе образцов-балочек в соответствии с ВСН 46-83

Перед испытанием образцы выдерживают в течение двух часов при заданной температуре, которую поддерживают и в процессе проведения испытаний.

После термостатирования образцов их укладывают боковой гранью на две опоры, удаленные друг от друга на расстояние 14 см. Одна из опор – подвижная, в виде шарнира, а вторая – неподвижная. Часть опоры, соприкасающаяся с образцом, имеет цилиндрическую поверхность радиусом 5 мм. Нагрузку прикладывают к середине образца.

Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа, определяется по формуле (1).

$$R_{изг} = \frac{3 \times P_p \times l}{2 \times b \times h^2} 10^{-2} , \quad (1)$$

где

P_p – разрушающая нагрузка, Н;
 l – расстояние между опорами, см;
 b – ширина образца, см;
 h – высота образца, см.

За результат испытания принимают среднее арифметическое значение предела прочности на растяжение при изгибе трех образцов.

Для определения модуля упругости используют значение упругого прогиба, измеренного не менее чем после 10 циклов предварительных повторных нагружений с нагрузкой, равной от 20 % до 30 % от разрушающей. Проводят не менее пяти основных нагружений, затем образец переворачивают на 90° и проводят еще не менее пяти нагружений.

После испытания на изгиб и измерения общего вертикального смещения низа образца, обусловленного не только изгибом, но и упругим обмятием образца в зонах контакта с опорами, проводят дополнительное испытание на определение упругого обмятия. Проведение испытания на определение упругого обмятия на опорах представлено на **рис. 5**.



Рис. 5. Проведение испытания на определение упругого обмятия на опорах в соответствии с ВСН 46-83

Для определения упругого обмятия на опорах поверх образца-балочки укладывают жесткую стальную балку с двумя нагрузочными элементами и нагружают ее такой же нагрузкой, как при проведении испытаний для определения упругого прогиба. При этом асфальтобетонная балочка не должна изгибаться, а только обратимо смещаться в вертикальном направлении.

Скорректированный расчетный упругий прогиб, f , см, определяется по формуле (2).

$$f = f_{\text{изм}} - f_{\text{доп}}, \quad (2)$$

где

f – скорректированный упругий прогиб, см;

$f_{\text{изм}}$ – первоначально измеренный прогиб, см;

$f_{\text{доп}}$ – дополнительное смещение, определяемое по результатам испытания со стальной балкой, см.

Модуль упругости, E , МПа, рассчитывают по формуле (3).

$$E = \frac{K_t \times P \times l^3}{48 \times f \times j} 10^{-2} , \quad (3)$$

где

K_t – поправка, определяемая по формуле (4);
 P – вертикальная нагрузка, Н;
 l – расчетный пролет балочки, равный 14 см;
 f – скорректированный упругий прогиб балочки, см;
 j – момент инерции сечения образца, см.

Учитывая, что при испытании фактическое время приложения нагрузки отличается от расчетного (0,1 с), то следует ввести поправку K_t , которая рассчитывается по формуле (4):

$$K_t = \sqrt[3]{\frac{t_p}{t_\phi}} , \quad (4)$$

где

t_p – расчетное время приложения нагрузки, равное 0,1 с;
 t_ϕ – фактическое время приложения нагрузки, с.

Для определения модуля упругости испытывают не менее трех образцов. За окончательное значение модуля упругости принимают среднее арифметическое значение. Расхождения между данными параллельных испытаний не должны превышать 20 %.

В соответствии с ВСН 46-83 [1] модуль упругости при температурах от 30°C до 50°C определяют по результатам испытаний цилиндрических образцов на рычажном прессе. Образцы для испытаний подготавливались на вращательном уплотнителе диаметром 150 мм и высотой 120 мм. Образцы испытывались через двое суток после их изготовления и не ранее, чем через 4 ч после их выдерживания в термокамере при требуемой температуре испытания. Нагрузку на образец от рычажного прессы передают через стальной штамп диаметром 4 см; деформации измеряют индикаторами часового типа (рис. 6).

Образец испытывают дважды при давлении, равном 0,5 МПа, с длительностью действия 5 и 300 с. Продолжительность действия нагрузки и отдыха после разгрузки принимают одинаковой. Показания

индикаторов снимают в конце нагружения и в конце отдыха, а затем по разности отсчетов рассчитывают обратимое вертикальное перемещение штампа.



Рис. 6. Проведение испытания на определение модуля упругости на рычажном прессе в соответствии с ВСН 46-83

Модуль упругости, Е, МПа, рассчитывают по формуле (5).

$$E_{л} = \frac{\pi \times p \times D(1 - \mu^2)}{4 \times f} \approx \frac{14,7}{f}, \quad (5)$$

где

μ – коэффициент Пуассона, равный 0,3;

D – диаметр штампа, см;

f – обратимое вертикальное перемещение штампа, см;

p – нагрузка, МПа.

Адаптированная зарубежная методика

В соответствии с ГОСТ Р 58401.21-2019 [5] в качестве испытательного оборудования была применена универсальная динамическая установка DTS-130 с испытательным модулем, аналогичным прибору АМРТ.

В отличие от отечественных методик установка АМРТ позволяет определять модуль упругости асфальтобетона во всем температурном диапазоне от 0 °С до 50 °С, в различном частотном диапазоне от 0,1 Гц до 25 Гц. Различные частоты позволяют прогнозировать поведение асфальтобетона под воздействием высокоскоростного и низкоскоростного движения транспортного потока, что не предусмотрено в отечественных методах.

Для подготовки испытуемых образцов необходимо в соответствии с ГОСТ Р 58401.14 [6] приготовить цилиндрические образцы на вращательном уплотнителе высотой около 180 мм.

Далее из уплотненных образцов высотой 180 мм и диаметром 150 мм с помощью буровой установки выбуривались испытуемые образцы диаметром 100 мм (**рис. 7**), затем на отрезном станке высота испытуемых образцов была доведена до 150 мм.



Рис. 7. Подготовка образцов для определения модуля упругости

Перед испытанием по определению модуля упругости необходимо заранее приклеить металлические цилиндры к боковым поверхностям испытуемого образца эпоксидным клеем, используя специальное центрирующее устройство. Металлические цилиндры приклеиваются таким образом, чтобы расстояние между ними по высоте образца составляло 7 см. Устройство для центрирования металлических цилиндров и процесс их приклеивания представлены на **рис. 8**.



Рис. 8. Устройство для центрирования металлических цилиндров (слева) и образец с приклеенными металлическими цилиндрами (справа)

После всех подготовительных работ испытуемые образцы помещались в испытательную камеру установки DTS-130, затем к металлическим цилиндрам прикреплялись высокоточные датчики линейной деформации (рис. 9) и устанавливалась требуемая температура испытания. При назначенной температуре образцы выдерживались в течение четырех часов для стабилизации температуры по всему объему асфальтобетонного образца.



Рис. 9. Испытательный модуль в соответствии с установкой АМРТ с подготовленным образцом асфальтобетона и прикрепленными датчиками линейной деформации

При проведении исследований, для исключения влияния осевой деформации образцов на результаты, температуру испытания устанавливали от наименьшей к наибольшей (сначала 0 °С, затем 10 °С, 20 °С, 30 °С, 40 °С и 50 °С). При каждой температуре испытания к образцу прикладывают циклическую гаверсинусоидальную нагрузку от самой высокой до самой низкой частоты (сначала 25 Гц, затем 10 Гц, 5 Гц, 1 Гц, 0,5 Гц и 0,1 Гц). Количество циклов приложения нагрузки, заложенное в программном обеспечении в соответствии с установкой АМРТ, в зависимости от частоты нагружения, представлено в табл. 1.

Таблица 1

*Количество циклов нагружения в зависимости
от частоты нагружения*

<i>Частота, Гц</i>	<i>Количество циклов</i>
25	30
10	20
5	20
1	20
0,5	20
0,1	20

Модуль упругости и фазовый угол, при выбранной частоте, рассчитывается по формулам (6) и (7):

$$\theta(\omega) = \overline{\theta_\epsilon} - \theta_\sigma ; \quad (6)$$

$$|E^*(\omega)| = \frac{|\sigma^*|}{|\epsilon^*|} , \quad (7)$$

где

$\overline{\theta_\epsilon}$ – средний фазовый угол всех датчиков деформации, град.;

θ_σ – фазовый угол напряжения, град.;

$\theta(\omega)$ – фазовый угол между напряжением и деформацией при частоте, град.;

$|\sigma^*|$ – величина напряжения, кПа;

$|\epsilon^*|$ – средняя величина деформации, мкм/м;

$|E^*(\omega)|$ – динамический модуль при частоте ω , кПа.

Результаты проведенных испытаний

В рамках эксперимента на одних и тех же исходных минеральных материалах были запроектированы щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси с номинальным максимальным размером заполнителя 16 мм по [7], а также по [8].

Асфальтобетоны готовились с использованием трех видов битумных вяжущих:

- полимерно-битумного вяжущего ПБВ 60, которое можно классифицировать как PG 64-34;
- битума БНД 100/130, который можно классифицировать как PG 58-28;
- битума БНД 50/70, который можно классифицировать как PG 64-22.

Сравнительные результаты испытаний образцов из щебеночно-мастичной смеси SMA-16 при температурах от 0 °С до 20 °С на маятниковом приборе и универсальной динамической установке DTS-130 представлены в **табл. 2**.

Таблица 2

Результаты испытаний образцов из щебеночно-мастичной смеси SMA-16 на маятниковом приборе и универсальной динамической установке DTS-130 при температурах от 0 °С до 20 °С

<i>Вид вяжущего</i>	<i>Температура испытания, °С</i>	<i>Предел прочности при изгибе, МПа</i>	<i>Модуль упругости, МПа (маятниковый прибор)</i>	<i>Модуль упругости, МПа (DTS- 130)</i>
<i>PG 64-22</i>	0	8,95	8624	9056
	10	10,15	5142	4345
	20	4,89	1990	2417
<i>PG 58-28</i>	0	11,25	5268	6786
	10	5,30	2004	2910
	20	2,25	1078	1193
<i>PG 64-34</i>	0	13,20	6421	6794
	10	7,62	2330	3417
	20	3,31	1222	1525

Сравнительные результаты испытаний образцов из щебеночно-мастичной смеси SMA-16 при температурах от 30 °С до 50 °С на рычажном прессе и универсальной динамической установке DTS-130 представлены в **табл. 3**.

Таблица 3

Результаты испытаний образцов из щебеночно-мастичной смеси SMA-16 на рычажном прессе и универсальной динамической установке DTS-130 при температурах от 30 °С до 50 °С

<i>Вид вяжущего</i>	<i>Температура испытания, °С</i>	<i>Предел прочности при изгибе, МПа</i>	<i>Модуль упругости, МПа (рычажной пресс)</i>	<i>Модуль упругости, МПа (DTS-130)</i>
<i>PG 64-22</i>	30	2,35	1040	1220
	40	1,44	505	631
	50	0,80	331	326
<i>PG 58-28</i>	30	1,07	337	503
	40	0,45	254	295
	50	0,24	177	185
<i>PG 64-34</i>	30	1,75	362	690
	40	0,82	152	345
	50	0,43	74	163

Полученные результаты сопоставительных испытаний различными приборами (приборы по ВСН 46-83 [1] и динамическая установка DTS-130) по единому алгоритму испытаний имеют высокую степень корреляции. Построенная корреляционная зависимость модулей упругости на образцах-балочках из смеси SMA-16 на трех видах битумного вяжущего во всем температурном диапазоне представлена на **рис. 10**. При этом необходимо особо отметить, что разброс результатов единичных измерений на универсальной установке DTS-130 гораздо меньше (до 12 %), чем на маятниковом приборе (до 20 %), что обуславливается более точным нагружением образца и соответствующим поддержанием температурного режима. На основании результатов проведенных сопоставительных испытаний дальнейшие исследования проводились на DTS-130.

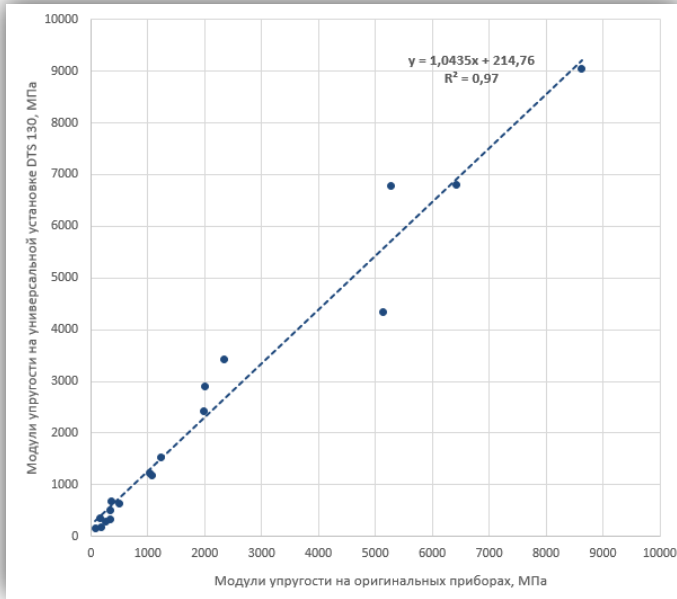


Рис. 10. Корреляционная зависимость модулей упругости на образцах-балочках из смеси SMA-16 на трех видах битумного вяжущего во всём температурном диапазоне

Сравнение модулей упругости асфальтобетонов по методике ВСН 46-83

Сравнение полученных результатов определения модуля упругости асфальтобетонов представлено в **табл. 4** и на **рис. 11-13**.

Для наглядного сравнения результатов полученные данные нанесены на графики. Дополнительно для сравнения с традиционными смесями на тех же исходных материалах, которые применялись для приготовления щебеночно-мастичных смесей, были запроектированы и приготовлены образцы из смесей SP-16 и A16Вт. Результаты испытаний представлены на **рис. 11-13**.

Таблица 4

*Результаты испытаний образцов из щебеночно-мастичной смеси
ЩМА-16 на универсальной динамической установке DTS-130
при температурах от 0 °C до 50 °C*

<i>Вид вяжущего</i>	<i>Температура испытания, °C</i>	<i>Модуль упругости, МПа, ЩМА-16</i>
<i>PG 64-22</i>	0	10867
	10	5648
	20	3380
	30	1840
	40	969
	50	528
<i>PG 58-28</i>	0	9106
	10	4010
	20	2115
	30	921
	40	435
	50	203
<i>PG 64-34</i>	0	8492
	10	4603
	20	2058
	30	965
	40	536
	50	185

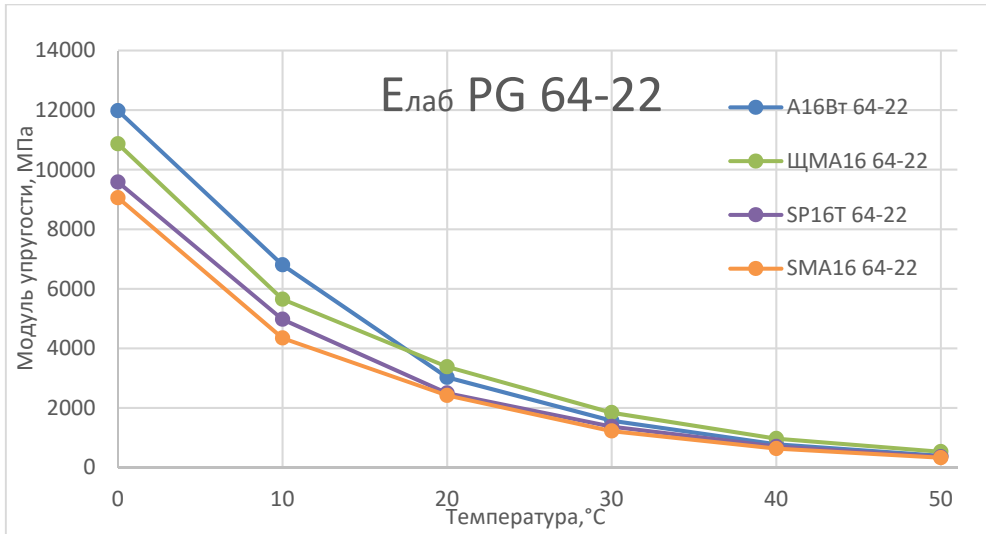


Рис. 11. Сравнение результатов определения модуля упругости асфальтобетонов на битумном вяжущем PG 64-34

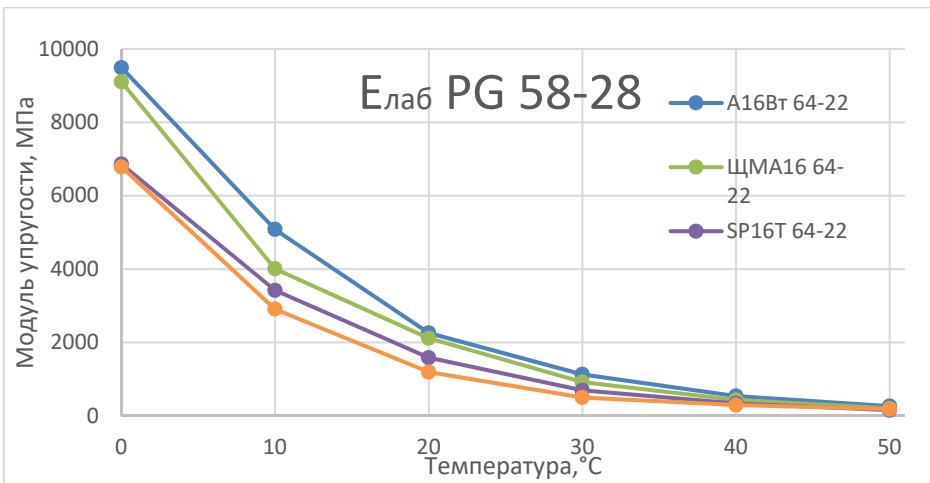


Рис. 12. Сравнение результатов определения модуля упругости асфальтобетонов на битумном вяжущем PG 58-28

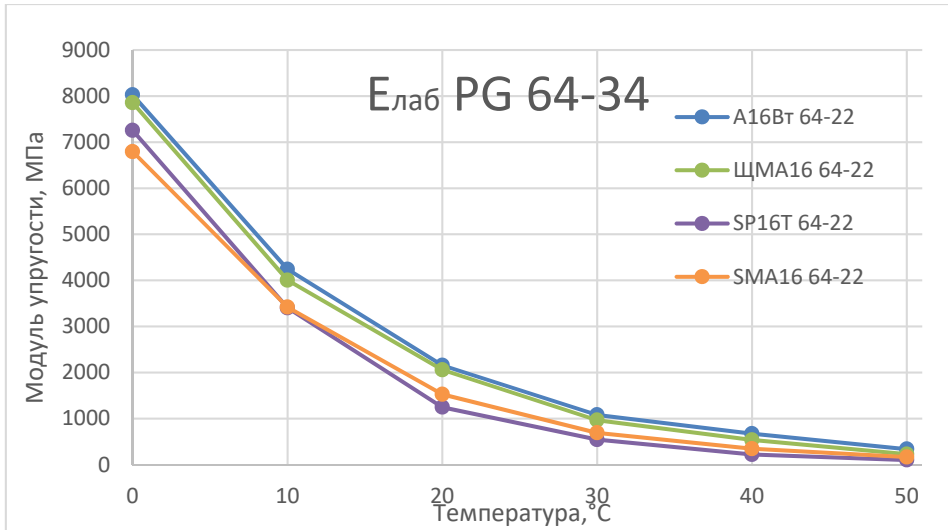


Рис. 13. Сравнение результатов определения модуля упругости асфальтобетонов на битумном вяжущем PG 64-34

Из **рис. 11-13** видно, что в рамках каждой системы проектирования асфальтобетона модули упругости щебеночно-мастичных асфальтобетонов незначительно ниже, чем модули упругости традиционных асфальтобетонов на всех представленных видах битумных вяжущих.

Данный результат можно объяснить повышенным содержанием битумного вяжущего в щебеночно-мастичном асфальтобетоне и как следствие их меньшей жесткостью в сравнении с традиционными.

Сравнение модулей упругости асфальтобетонов по методике ГОСТ Р 58401.21 (АМРТ)

Результаты испытаний образцов из щебеночно-мастичной смеси SMA-16 на различных вяжущих при температурах от 0 °C до 50 °C на универсальной динамической установке DTS-130, оснащенной модулем для испытаний по методике АМРТ, представлены в **табл. 5**.

Таблица 5

Результаты испытаний образцов из щебеночно-мастичной смеси SMA-16 на различных битумных вяжущих при температурах от 0°C до 50°C

Температура испытания, °C	Частота нагрузки, Гц	PG 64-22	PG 58-28	PG 64-34
		Модуль упругости, МПа	Модуль упругости, МПа	Модуль упругости, МПа
0	25	14687	9260	10251
	10	13491	8100	9054
	5	12539	7244	8153
	1	10227	5987	6146
	0,5	9220	4664	5346
	0,1	6961	3212	3707
10	25	10210	5542	6273
	10	8881	4584	5216
	5	7896	3925	4479
	1	5765	2634	3016
	0,5	4945	2185	2500
	0,1	3331	1371	1563
20	25	6024	2887	3276
	10	4928	2264	2567
	5	4183	1864	2111
	1	2758	1155	1299
	0,5	22763	931	1043
	0,1	1431	557	620
30	25	3078	1362	1521
	10	2397	1028	1143
	5	1970	827	916
	1	1232	494	543
	0,5	1006	395	434
	0,1	634	238	261
40	25	1464	621	678
	10	1118	462	503
	5	913	370	402
	1	579	223	244
	0,5	481	181	198

<i>Температура испытания, °C</i>	<i>Частота нагружения, Гц</i>	<i>PG 64-22</i>	<i>PG 58-28</i>	<i>PG 64-34</i>
		<i>Модуль упругости, МПа</i>	<i>Модуль упругости, МПа</i>	<i>Модуль упругости, МПа</i>
	0,1	323	115	127
	25	714	293	315
50	10	553	220	238
	5	460	179	194
	1	311	113	125
	0,5	267	94	105
	0,1	195	64	73
<i>Примечание: для расчета усредненных показателей модуля упругости принимались единичные значения трех испытываемых образцов, разница результатов между которыми не превышала 10 %.</i>				

Результаты испытаний образцов из щебеночно-мастичной смеси ЦМА-16 на различных вяжущих при температурах от 0 °C до 50 °C на универсальной динамической установке DTS-130, оснащенной модулем для испытаний по методике АМРТ, представлены в **табл. 6**.

Таблица 6

Результаты испытаний образцов из щебеночно-мастичной смеси ЦМА-16 на различных битумных вяжущих при температурах от 0 °C до 50 °C

<i>Температура испытания, °C</i>	<i>Частота нагружения, Гц</i>	<i>PG 64-22</i>	<i>PG 58-28</i>	<i>PG 64-34</i>
		<i>Модуль упругости, МПа</i>	<i>Модуль упругости, МПа</i>	<i>Модуль упругости, МПа</i>
0	25	15411	13262	13414
	10	14208	12118	12215
	5	13232	11222	11275
	1	10810	9100	9051
	0,5	9737	8795	8107
	0,1	7310	6202	6047
10	25	10965	8872	9192
	10	9547	7686	7946

Температура испытания, °C	Частота нагружения, Гц	PG 64-22	PG 58-28	PG 64-34
		Модуль упругости, МПа	Модуль упругости, МПа	Модуль упругости, МПа
	5	8486	6823	7036
	1	6174	4990	5113
	0,5	5284	4297	4389
	0,1	3548	2942	2989
20	25	6600	5051	5465
	10	5396	4141	4482
	5	4577	3528	3820
	1	3024	2368	2567
	0,5	2505	1976	2146
	0,1	1605	1284	1405
30	25	3458	2535	2919
	10	2706	1999	2310
	5	2237	1663	1928
	1	1434	1078	1261
	0,5	1190	895	1054
	0,1	791	590	706
40	25	1728	1218	1509
	10	1344	952	1186
	5	1117	793	992
	1	748	527	668
	0,5	639	446	570
	0,1	463	313	407
50	25	916	615	817
	10	734	491	656
	5	628	417	560
	1	457	295	401
	0,5	406	258	353
	0,1	322	196	273
Примечание: для расчета усредненных показателей модуля упругости принимались единичные значения трех испытуемых образцов, разница результатов между которыми не превышала 10 %.				

Для наглядности модули упругости щебеночно-мастичных асфальтобетонов, полученные по различным методикам, нанесены на графики (рис. 14-16).

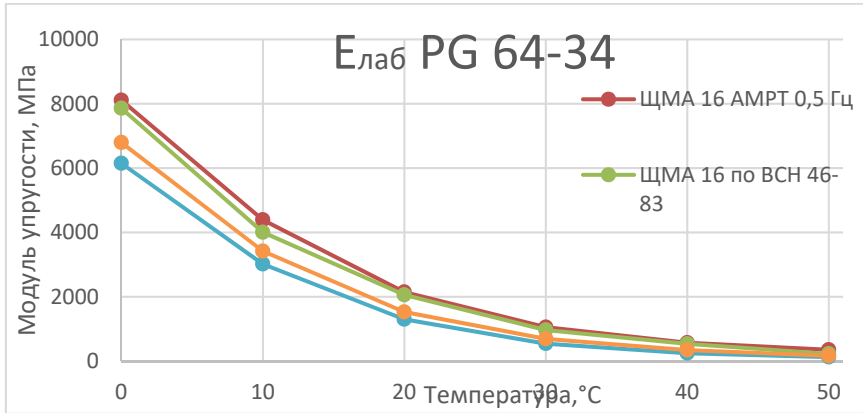


Рис. 14. Сравнение модулей упругости щебеночно-мастичных асфальтобетонов на битумном вяжущем PG 64-34, полученных по различным методикам

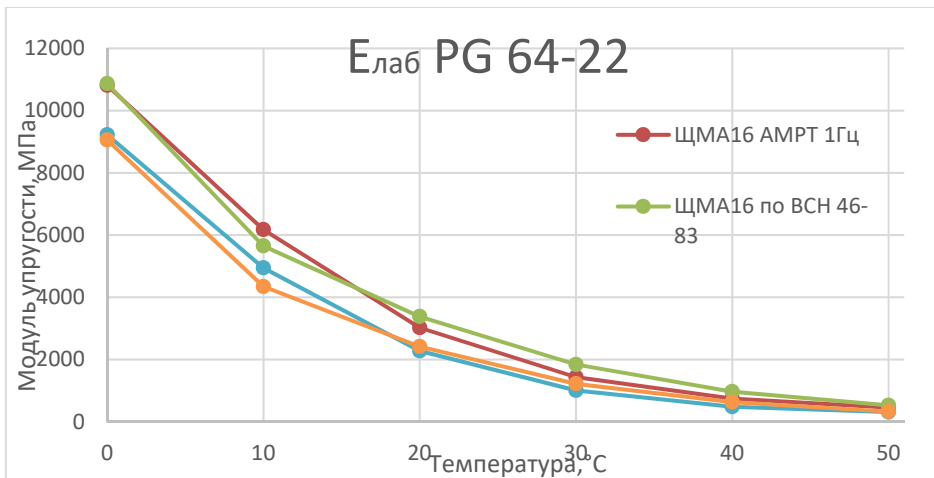


Рис. 15. Сравнение модулей упругости щебеночно-мастичных асфальтобетонов на битумном вяжущем PG 64-22, полученных по различным методикам

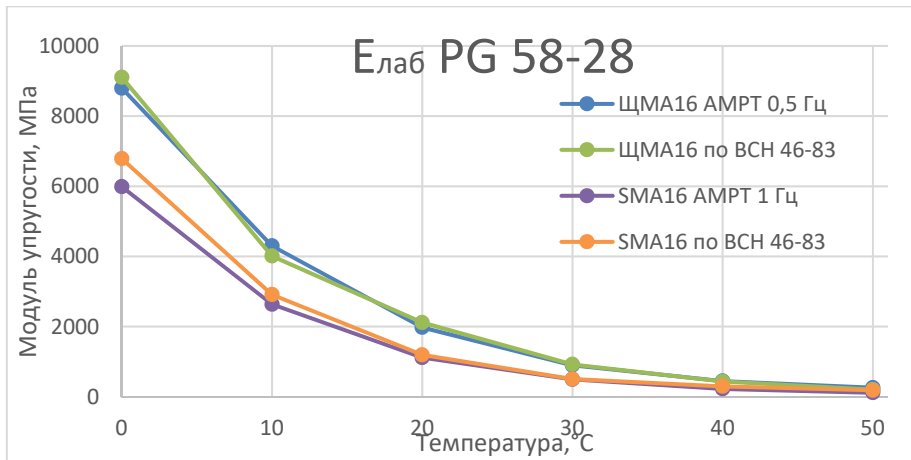


Рис. 16. Сравнение модулей упругости щебеночно-мастичных асфальтобетонов на битумном вяжущем PG 58-28, полученных по различным методикам

По данным, приведенным в табл. 5, 6 и рис. 14-16, можно сделать вывод, что наиболее сопоставимыми по значениям модуля упругости с отечественной методикой ВСН 46-83 [1] являются данные, полученные на установке АМРТ по ГОСТ Р 58401.21-2019 [5] при частоте нагружения, равной 0,5-1 Гц.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первую очередь необходимо отметить, что на текущий момент в действующем в Российской Федерации документе на проектирование нежестких дорожных одежд – ПНСТ 542-2021 [9] не указаны методики получения модулей упругости асфальтобетонов. Проведенный эксперимент показал, что при необходимости устаревшие лабораторные методики из ВСН 46-83 [1] при необходимости можно заменить на современную методику с применением установки АМРТ по ГОСТ Р 58401.21-2019 [5] при частоте нагружения, равной 0,5-1 Гц.

Кроме того, было подтверждено, что в [9] впервые корректно были представлены табличные значения модуля упругости для щебеночно-мастичных асфальтобетонов. Проведенный эксперимент подтвердил обоснованность значений модуля упругости для щебеночно-мастичных асфальтобетонов и их несколько меньшие значения по срав-

нению с традиционными асфальтобетонами. Данный факт может негативно влиять на результаты расчетов нежестких дорожных одежд с использованием щебеночно-мастичных асфальтобетонных, при этом следует отметить, что ЩМА применяется в верхнем слое покрытия, который выполняет функцию защиты нижележащих слоев дорожной одежды. Этот слой должен обладать высокой стойкостью к пластическим деформациям, трещиноустойчивостью и выносливостью к истиранию шипованными шинами автомобилей. Всеми этими свойствами и обладает ЩМА, что обосновано широким применением данного материала как в России, так и за рубежом на протяжении уже нескольких десятилетий.

ЛИТЕРАТУРА

1. ВСН 46-83. Инструкция по проектированию одежд нежесткого типа. – Взамен ВСН 46-72, не применяется с 01.01.2001. – М.: Минтрансстрой СССР, М.: Транспорт, 1985. – 191 с.
2. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. – Взамен ВСН 46-83, утв. 20.12.2000 / Росавтодор. – М.: ФГУП «Информавтодор», 2001. – 150 с.
3. ГОСТ 31015-2002. Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия. – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 22 с.
4. ГОСТ 12801-98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. – М.: ГУП ЦПП, 1999. – 63 с.
5. ГОСТ Р 58401.21-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Методы определения динамического модуля упругости и числа текучести с использованием установки динамического нагружения (АМРТ). – М.: Стандартинформ, 2019. – 15 с.
6. ГОСТ Р 58401.14. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод приготовления образцов для определения динамического модуля. – М.: Стандартинформ, 2019. – 11 с.
7. ГОСТ Р 58401.2-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Система объемно-функционального проектирования. Технические требования. – М.: Стандартинформ, 2019. – 15 с.

8. ГОСТ Р 58406.1-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеночно-мастичные асфальтобетонные и асфальтобетон. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2020. – 23 с.
9. ПНСТ 542-2021. Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования. – М.: Стандартинформ, 2021. – 153 с.

L I T E R A T U R A

1. VSN 46-83. Instrukciya po proektirovaniyu odezhd nezhestkogo tipa. – Vzamen VSN 46-72, ne primenyaetsya s 01.01.2001. – М.: Mintransstroj SSSR, М.: Transport, 1985. – 191 s.
2. ODN 218.046-01. Proektirovanie nezhestkih dorozhnyh odezhd. – Vzamen VSN 46-83, utv. 20.12.2000 / Rosavtodor. – М.: FGUP «Informavtodor», 2001. – 150 s.
3. GOST 31015-2002. Smesi asfal'tobetonnye i asfal'tobeton shchebenочно-mastichnye. Tekhnicheskie usloviya. – М.: GUP CPP, 2003. – 22 s.
4. GOST 12801-98. Materialy na osnove organicheskikh vyazhushchih dlya dorozhnogo i aerodromnogo stroitel'stva. Metody ispytaniy. – М.: GUP CPP, 1999. – 63 s.
5. GOST R 58401.21-2019. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Smesi asfal'tobetonnye dorozhnye i asfal'tobeton. Metody opredeleniya dinamicheskogo modulya uprugosti i chisla tekuchesti s ispol'zovaniem ustanovki dinamicheskogo nagruzheniya (AMPT). – М.: Standartinform, 2019. – 15 s.
6. GOST R 58401.14. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Smesi asfal'tobetonnye dorozhnye i asfal'tobeton. Metod prigotovleniya obrazcov dlya opredeleniya dinamicheskogo modulya. – М.: Standartinform, 2019. – 11 s.
7. GOST R 58401.2-2019. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Smesi asfal'tobetonnye dorozhnye i asfal'tobeton shchebenочно-mastichnye. Sistema ob'emno-funkcional'nogo proektirovaniya. Tekhnicheskie trebovaniya. – М.: Standartinform, 2019. – 15 s.
8. GOST R 58406.1-2019. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Smesi shchebenочно-mastichnye asfal'tobetonnye i asfal'tobeton. Tekhnicheskie usloviya. – М.: Standartinform, 2020. – 23 s.

-
9. PNST 542-2021. *Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Nezhestkie dorozhnye odezhdyy. Pravila proektirovaniya.* – M.: Standartinform, 2021. – 153 s.

.....
**RESEARCH OF THE ELASTIC MODULUS OF STONE MASTIC
ASPHALT FOR ROAD PAVEMENT STRUCTURES DESIGN**

Asphalt Concrete Laboratory Head manager **G.F. Kadyrov**,
*Laboratory Head manager for Evaluation
of Road Transport and Operational Condition* **M.Y. Gorskiy**,
Deputy Director **K.A. Zhdanov**,
Ph. D. in Economics, General Director **E.N. Simchuk**
(ANO «NII TSK»),
Contact information: kadyrovgf@niitsk.ru

The article discusses the methods concerning the determination of the elastic modulus of stone mastic asphalt. The results of laboratory researches on the determination of the elastic modulus of stone mastic asphalt by various methods are presented. A comparative analysis of the elastic modulus of stone mastic asphalt and traditional (dense-graded) asphalt has been carried out. Recommendations are given on the use of existing methods for determining the elastic moduli of asphalt concretes in order to obtain their design characteristics.

Key words: *stone mastic asphalt, elastic modulus, design characteristics, laboratory researches.*

Рецензент: канд. тех. наук А.С. Конорев (ФАУ «РОСДОРНИИ»).
Статья поступила в редакцию: 26.01.2023 г.

