
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р
*(проект, первая
редакция)*

**Дороги автомобильные общего пользования
СМЕСИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ ДОРОЖНЫЕ И
АСФАЛЬТОБЕТОН**

**Метод определения динамического модуля
упругости с использованием установки
динамического нагружения (SPT)**

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его принятия

Москва
Стандартинформ
2018

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Центр метрологии, испытаний и стандартизации» (ООО «ЦМИиС»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 418 «Дорожное хозяйство»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от _____ № _____

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 ДЕЙСТВУЕТ ВЗАМЕН ПНСТ 133-2016

Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок – в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (www.gost.ru).

© Стандартиформ, 2018

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения	
2 Нормативные ссылки.....	
3 Термины и определения	
4 Требования к испытательному оборудованию, средствам измерения, вспомогательным устройствам.....	
5 Метод измерений.....	
6 Требования безопасности, охраны окружающей среды.....	
7 Требования к условиям измерений	
8 Подготовка к выполнению измерений.....	
9 Порядок выполнения измерений	
10 Обработка результатов измерений.....	
11 Протокол испытаний.....	
12 Контроль точности результата испытания.....	

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Дороги автомобильные общего пользования
СМЕСИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ ДОРОЖНЫЕ И АСФАЛЬТОБЕТОН**

**Метод определения динамического модуля упругости
с использованием установки динамического нагружения (SPT)**

Automobile roads of general use.

Asphalt mixtures and asphalt.

Method for determining the dynamic modulus using a dynamic loading
device (SPT)

Дата введения -

1 Область применения

Настоящий стандарт описывает методику определения динамического модуля упругости асфальтобетона в определенных диапазонах температур и нагрузочных частот.

Настоящий стандарт распространяется на смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон, предназначенные для устройства конструктивных слоев дорожной одежды.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.4.131-83 Халаты женские. Технические условия

ГОСТ 12.4.132-83 Халаты мужские. Технические условия

ГОСТ 166-89 Штангенциркули. Технические условия

ГОСТ 3749-77 Угольники поверочные 90°. Технические условия

ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда.

Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

ГОСТ 12.4.252-2013 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты рук. Перчатки. Общие технические требования. Методы испытаний

ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения максимальной плотности»

ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон Метод определения объёмной плотности»

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения национального стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 комплексный модуль (complex modulus): Комплексная величина, устанавливающая взаимосвязь между напряжением и деформацией материала с линейными вязкостно-упругими свойствами.

3.2 динамический модуль (dynamic modulus): Абсолютное значение, полученное делением максимального (полного) напряжения на максимальную (полную) упругую деформацию материала, подверженного синусоидальной нагрузке.

3.3 фазовый угол (phase angle): Угол между функцией синусоидально приложенным максимальным напряжением и функцией результирующей максимальной деформации во время испытания.

3.4 испытуемый образец (test specimen): Уплотненная асфальтобетонная смесь цилиндрической формы, диаметром (102 ± 2) мм и высотой $(150,0\pm 2,5)$ мм.

3.5 образец (specimen): Уплотненная асфальтобетонная смесь цилиндрической формы, диаметром (150 ± 1) мм и высотой (170 ± 1) мм.

4 Требования к средствам измерений, вспомогательным устройствам, материалам и реактивам

При выполнении работ по определению динамического модуля упругости асфальтобетона применяют следующее испытательное оборудование, средства измерений и вспомогательные устройства:

4.1 Испытательная машина, способная создавать синусоидальную сжимающую нагрузку в диапазоне частот от 0,1 до 25,0 Гц и величиной напряжения до 2800 кПа. При синусоидальной нагрузке стандартная ошибка в величине приложенной нагрузки не должна превышать 5 %. Стандартная ошибка в величине приложенной нагрузки – это разность между замеренной нагрузкой и оптимальной синусоидой нагрузки. Стандартная ошибка в величине приложенной нагрузки вычисляется по формуле

$$se(P) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{n-4}} \left(\frac{100\%}{\hat{x}_0} \right) \quad (1)$$

где: $se(P)$ – стандартная ошибка в величине приложенной нагрузки;

x_i – замеренное напряжение в точке i , кПа;

\hat{x}_i – прогнозируемое напряжение в точке i , снятое с оптимальной синусоиды, кПа;

n – общее число точек, в которых замерялось напряжение во время испытания;

\hat{x}_0 – напряжение на амплитуде оптимальной синусоиды.

4.1.1 Система управления и сбора данных должна обеспечивать сохранение данных (уровень напряжения, осевая деформация) в их хронологической последовательности. Система должна измерять время приложения синусоидальной нагрузки и результирующих деформаций. Характеристики измерительной системы приведены в таблице 1.

Таблица 1

Измеряемая величина	Диапазон измерения	Разрешающая способность
Нагрузка	0,12 – 25 кН	не более 0,0012 кН
Деформация	≤ 1 мм	не более 0,0002 мм

4.1.2 Климатическая камера способная термостатировать образцы при разных температурах.

Климатическая камера должна поддерживать температуру испытания образца в диапазоне от минус 10°C до 60°C с точностью 0,5°C. Камера должна быть достаточно вместительной, чтобы разместить испытуемый образец и фиктивный образец с термопарой, установленной в центре для контроля температуры.

4.2 Вращательный уплотнитель (гиратор) и вспомогательное оборудование для подготовки образцов. Уплотнитель должен быть рассчитан на уплотнение образцов высотой не менее 170 мм.

4.3 Сушильный шкаф способный нагревать и поддерживать температуру до 220 °C и с погрешностью 3 °C.

4.4 Осевые деформации следует измерять при помощи линейного дифференциального датчика (далее - ЛДД), установленного между точками контроля. Пример установки датчика ЛДД представлен на рисунке 1.

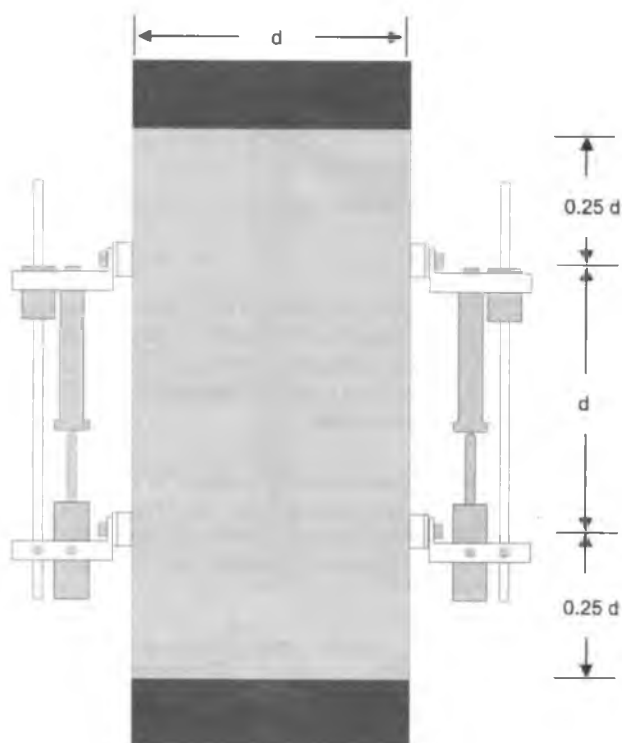


Рисунок – 1 Общая схема расположения точек измерения

Деформации следует измерять в четырех точках, диаметрально противоположных друг от друга. Это обусловлено тем, что в случае отказа одного ЛДД можно пренебречь показаниями противоположного ЛДД и основываться на измерениях двух ЛДД для получения средней величины деформации. Наибольший предел измерения деформации должен быть равным 0,5 мм. Деформация должна измеряться между точками на образце, удаленными друг от друга в соответствии с Рисунком 1. Система измерения деформации должна иметь функцию автоматического обнуления и функцию выбора диапазона измерений согласно таблице 2.

Таблица 2

Диапазон измерений, мм	Разрешающая способность, мм
до 0,5	0,0100
до 0,25	0,0050
до 0,125	0,0025
до 0,0625	0,0010

4.5 Нагрузочные диски диаметром $(104,5 \pm 0,5)$ мм, используемые укладки сверху и снизу образца для передачи нагрузки с испытательной машины на образец.

Примечание - Как правило, эти диски изготавливаются из закаленной стали либо из высокопрочного анодированного алюминия. Если диски выполнены из более мягкого материала, потребуется более частая их замена. Материалы с модулем упругости и твердостью ниже, чем у алюминия марки АД-33 применять не следует.

4.6 Амортизирующие прокладки, которые устанавливаются между торцами образца и нагрузочными дисками для уменьшения трения. Эти прокладки состоят из двух тефлоновых листов или двух мембран из латекса толщиной $(0,30 \pm 0,05)$ мм и диаметром $(104,5 \pm 0,5)$ мм, между которыми нанесен слой силиконовой смазки.

4.7 Установка для распила асфальтобетона (циркулярная пила) для обработки торцов образцов. Циркулярная пила должна иметь алмазную режущую кромку, и она должна отпиливать торцы образцов без нагрева и ударной нагрузки.

4.8 Колонковый бур, снабженный системой охлаждения и алмазным наконечником для выбуривания образцов диаметром (102 ± 2) мм.

Примечание - Для использования рекомендуется буровая установка со скоростью вертикальной подачи $0,05$ мм/об и угловой скоростью 450 мин⁻¹. Для отбора образцов можно также использовать электрический пробоотборник с держателем.

5 Метод измерений

Сущность метода заключается в определении динамического модуля упругости асфальтобетона и фазового угла. Синусоидальное осевое сжимающее напряжение прикладывается к образцу асфальтобетона при заданной температуре и заданной частоте нагружения. Производятся замеры напряжения, приложенного к образцу и результирующей осевой деформации образца. На основе полученных данных производится расчет динамического модуля упругости асфальтобетона и фазового угла.

6 Требования безопасности и охраны окружающей среды

При работе с асфальтобетонами используют одежду специальную защитную - по ГОСТ 12.4.131 или ГОСТ 12.4.132. Для защиты рук используют перчатки - по ГОСТ Р 12.4.252.

При выполнении измерений соблюдают правила по электробезопасности - по ГОСТ Р 12.1.019 и инструкции по эксплуатации оборудования.

7 Требования к условиям измерений

При выполнении измерений соблюдают следующие условия для помещений, в которых испытывают образцы:

- температура — $(22 + 3) ^\circ\text{C}$,
- относительная влажность — $(55 + 15) \%$.

Если образцы не будут испытаны в течение ближайших двух дней, оберните их в полиэтиленовую пленку и храните в закрытом помещении при температуре $(22\pm 3) ^\circ\text{C}$. Образцы при хранении не следует укладывать друг на друга.

8 Подготовка к выполнению измерений

При подготовке к выполнению измерений проводят следующие работы:

- изготовление образцов;
- подготовка испытуемых образцов;
- подготовка и настройка оборудования к измерениям.

8.1 Изготовление образцов

Асфальтобетонные смеси, приготовленные в лабораторных условиях, должны быть термостатированы путем их выдерживания в сушильном шкафу при температуре $135\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение (240 ± 5) мин., при этом необходимо перемешивать асфальтобетонную смесь каждые (60 ± 5) мин. Толщина слоя асфальтобетонной смеси на поддоне во время термостатирования должна быть в пределах от 25 до 50 мм. Образцы смеси, отобранные в полевых условиях, предварительного термостатирования перед испытаниями не требуют.

Для определения динамического модуля используются образцы из асфальтобетонной смеси, уплотненные при помощи вращательного уплотнителя (Гиратора). Высота образца должна составлять (170 ± 1) мм. Диаметр образца должен быть $(150 \pm 2,5)$ мм.

8.2 Подготовка испытуемых образцов

При подготовке испытуемых образцов для испытания необходимо осуществить следующие операции:

- выбурить испытуемый образец диаметром (102 ± 2) мм из середины асфальтобетонного образца, уплотненного при помощи вращательного уплотнителя. Колонковый бур и уплотненный образец должны устанавливаться на устойчивой опоре так, чтобы выбуриваемый испытуемый образец имел строго цилиндрическую форму, а его наружные поверхности были параллельными, без уступов, гребней и бороздок;

- необходимо измерить диаметр испытуемого образца с помощью штангенциркуля по ГОСТ 166 в трех точках относительно высоты образца, и в трех точках расположенных под углом 90 град. относительно друг друга. Зафиксируйте результаты всех шести замеров с точностью до 1 мм. Рассчитайте среднюю величину и стандартное отклонение 6 замеров. Если стандартное отклонение превышает 2,5 мм, испытуемый образец должен быть отбракован. Если результаты замеров приемлемы, средний диаметр, зафиксированный с точностью до 1 мм должен использоваться во всех последующих расчетах;

- обработать при помощи циркулярной пилы торцевые поверхности всех испытуемых образцов так, чтобы высота образца составляла $(150,0 \pm 2,5)$ мм. Поверхности торцов испытуемых образцов должны быть перпендикулярными вертикальной оси образца. Торцевая плоскость испытуемого образца не должна отклоняться от перпендикулярности более чем на 1 град., что соответствует

2,7 мм при длине образца 152,4 мм. Это требование должно проверяться на каждом образце при помощи угольника по ГОСТ 3749 и штангенциркуля по ГОСТ 166. Если данное требование не соблюдено, отбракуйте соответствующие образцы;

- плоскостность поверхности торцов испытуемого образца не должна превышать 0,05 мм. Это требование должно проверяться как минимум в трех точках, отстоящих друг от друга примерно на 120 град. с использованием угольника по ГОСТ 3749 и набора измерительных щупов толщиной от 0,02 до 0,05 мм.

- определить остаточную пористость в испытуемом образце, подготовленном для окончательных испытаний, по формуле

$$V = 100 \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \quad (2)$$

где: V – остаточная пористость, %;

G_{mm} – максимальная плотность асфальтобетонной смеси, определенная в соответствии с ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения максимальной плотности», г/см³;

G_{mb} – объемная плотность образцов, определенная в соответствии с ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон Метод определения объемной плотности», г/см³.

При определении динамического модуля упругости остаточная пористость асфальтобетона должна составлять $(7,0 \pm 0,5)$ %. Если остаточная пористость превышает требуемую величину, отбракуйте образец.

Для испытаний рекомендуется подготовить не менее трех испытуемых образцов.

8.3 Подготовка и настройка оборудования к измерениям

Перед испытанием необходимо прикрепить монтажные шпильки ЛДД к боковым поверхностям испытуемого образца эпоксидным клеем. Расположение монтажных шпилек и крепежных средств ЛДД показано на рисунке 2.

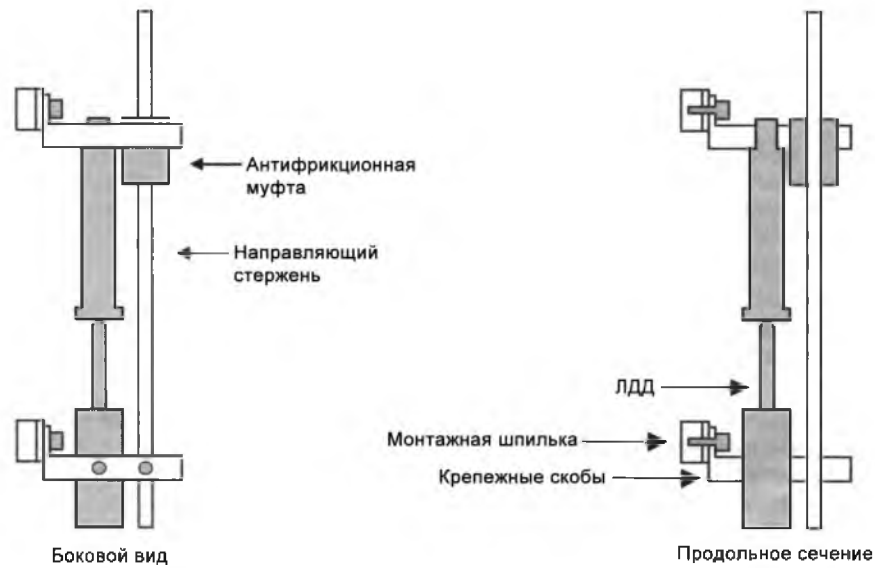


Рисунок – 2 Схема расположения монтажных шпилек и крепежных средств ЛДД

Примечание – Для крепления шпилек рекомендуется использовать быстросхватывающийся эпоксидный клей. Прочность на отрыв которого составляет не менее 20 МПа

Схема проведения испытания по определению динамического модуля упругости представлена на рисунке 3.

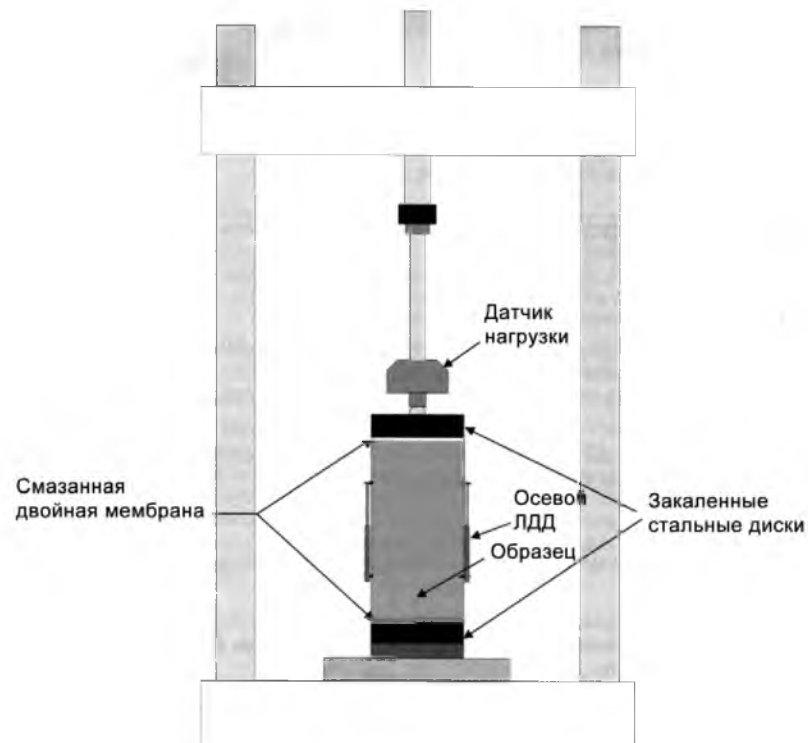


Рисунок 3 – Схема проведения испытания по определению динамического модуля упругости

9 Порядок выполнения измерения

Для построения обобщающих кривых и анализа эксплуатационных характеристик дорожного покрытия испытание должно быть проведено при температурах минус 10 °С; 4,4 °С; 21,1 °С; 37,8 °С и 54 °С и нагрузочных частотах 0,1; 0,5; 1; 5; 10 и 25 Гц при каждой из перечисленных температур.

При определении динамического модуля упругости асфальтобетона необходимо осуществить следующие операции:

- поместить испытуемый образец в климатическую камеру и дождитесь стабилизации заданной температуры испытания. Для определения того момента, когда температура испытуемого образца достигнет тестовой величины, используется контрольный образец, в центре которого закреплена термопара. В таблице 3 приведено ориентировочное время стабилизации температуры;

Таблица 3

Температура образца, °С	Время, отсчитываемое от момента, когда образец находился при комнатной температуре 25°С, ч	Время, отсчитываемое от момента, когда образец находился при температуре предыдущего испытания, ч
-10	8	8
4,4	8	от 4 до 8
21,1	1	3
37,8	2	2
54	3	1

- установить амортизирующую прокладку на диск из закаленной стали. Установите испытуемый образец на прокладку и прикрепите осевые ЛДД к крепежным элементам, ранее приклеенным к испытуемому образцу. Отрегулируйте ЛДД для замера всего диапазона деформации при испытании;

- установить амортизирующую прокладку и диск из закаленной стали на верхнюю поверхность испытуемого образца. Отцентрируйте испытуемый образец;

- приложить контактную нагрузку (P_{\min}), равную (15 ± 5) кПа для обеспечения плотного прижатия испытуемого образца, не деформируя его. При необходимости отрегулируйте электронную измерительную систему;

- приложить синусоидальную (динамическую) циклическую нагрузку на образец. Динамическая нагрузка должна быть отрегулирована таким образом,

чтобы осевая деформация лежала в пределах от 50 до 150 мкм/м (от 0,0005 до 0,0015 мм/см). В начале испытания произведите предварительное нагружение испытуемого образца так, чтобы осевая деформация находилась в пределах от 50 до 150 мкм/м (от 0,0005 до 0,0015 мм/см), выполнив 200 циклов с частотой 25 Гц.;

Примечание – Динамическая нагрузка зависит от жесткости испытуемого образца и обычно лежит в пределах от 15 до 2800 кПа. Чем ниже температура, тем больше должна быть нагрузка. Типовые динамические напряжения при разных температурах представлены в таблице 4.

Таблица 4

Температура, °С	Диапазон нагружения, кПа
минус 10	1400 – 2800
4,4	700 – 1400
21,1	350 – 700
37,8	140 – 250
54	35 – 70

- при проведении испытаний следует начинать с самой низкой температуры и постепенно переходить к самой высокой, т.е. от минус 10 °С до 54 °С. При каждой температуре приложите нагрузку от самой высокой до самой низкой частоты, т.е. от 25 до 0,1 Гц. Приложение нагрузки к испытуемому образцу производится в соответствии с таблицей 5. Стандартная выдержка между испытаниями при разной частоте – 2 мин. Выдержка между двумя испытаниями при двух разных частотах не должна превышать 30 мин.

Таблица 5

Частота, Гц	Количество циклов
25	200
10	200
5	100
1	20
0,5	15
0,1	15

После окончания серии испытаний испытуемый образец должен быть утилизирован. Если суммарная пластическая деформация превышает 1,5 мм, испытание следует проводить заново, используя новый испытуемый образец.

10 Обработка результатов испытаний

В текущем разделе приведена процедура расчетов динамического модуля $|E^*(\omega)|$ и фазового угла $\Theta(\omega)$, пользуясь данными по конкретным частотам нагрузки (ω) .

Примечание – Данные, полученные при проведении испытаний по определению динамического модуля при частоте ω_0 , хранятся в виде нескольких массивов: массив времени [ti], массив напряжений [σ_i] и массив для каждого датчика деформации $j= 1,2,3,...m$ [ϵ_j]. Число точек $i= 1,2,3..n$ в каждом массиве должно быть одинаковым, и оно зависит от количества замеров, выполненных в пределах одного цикла нагрузки. Рекомендуется, чтобы в каждом цикле было 50 точек замеров, и таким образом, при 5 циклах нагружения общее число точек замеров должно быть 250.

Для расчета динамического модуля $|E^*(\omega)|$ и фазового угла $\Theta(\omega)$ необходимо определить ряд других показателей.

10.1 Определить среднее напряжение по следующей формуле

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{n} \quad (3)$$

где: $\bar{\sigma}$ – среднее напряжение, кПа;

σ_i – точка замера напряжения i в массиве, кПа;

n – число точек в массиве данных.

10.2 Затем рассчитать центрированные напряжения по следующей формуле

$$\sigma'_i = \sigma_i - \bar{\sigma} \quad (4)$$

где: σ'_i – центрированное напряжение в точке i массива данных, кПа;

σ_i – точка замера напряжения i в массиве данных, кПа;

$\bar{\sigma}$ – среднее напряжение, кПа.

10.3 По величине центрированного напряжения рассчитать три коэффициента напряжения: коэффициент неравномерности, синфазный и несинфазный коэффициенты напряжения по следующим формулам

$$A_{\sigma 0} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma'_i}{n} \quad , \quad (5)$$

$$A_{\sigma 1} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n \sigma'_i \cos(\omega_0 t_i) \quad , \quad (6)$$

$$B_{\sigma 1} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n \sigma'_i \sin(\omega_0 t_i) \quad (7)$$

где: $A_{\sigma 0}$ – коэффициент неравномерности напряжения, кПа;
 σ'_i – центрированное напряжение в точке i массива данных, кПа;
 $A_{\sigma 1}$ – синфазный коэффициент напряжения, кПа;
 $B_{\sigma 1}$ – несинфазный коэффициент напряжения, кПа;
 ω_0 – частота приложенного напряжения, рад/сек;
 t_i – время замера в точке i в массиве данных, сек;
 n – число точек в массиве данных.

10.4 Пользуясь коэффициентами напряжения, рассчитать величины напряжения и фазовые углы по следующим формулам

$$|\sigma^*| = \sqrt{A_{\sigma}^2 + B_{\sigma}^2} \quad , \quad (8)$$

$$\theta_{\sigma} = \arctg\left(-\frac{B_{\sigma}}{A_{\sigma}}\right) \quad (9)$$

где: $|\sigma^*|$ – величина напряжения, кПа;
 A_{σ} – синфазный коэффициент напряжения, кПа;
 B_{σ} – несинфазный коэффициент напряжения, кПа;
 θ_{σ} – фазовый угол напряжения, град.

10.5 Рассчитать массив прогнозируемых центрированных напряжений и стандартную ошибку в расчетах приложенных напряжений по формулам

$$\widehat{\sigma}_i = A_{\sigma 0} + A_{\sigma 1} \cos(\omega_0 t_i) + B_{\sigma 1} \sin(\omega_0 t_i) \quad , \quad (10)$$

$$se(\sigma) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{\sigma}_i - \sigma'_i)^2}{n-4}} \left(\frac{100\%}{|\sigma^*|} \right) \quad (11)$$

где: $\hat{\sigma}_i$ – прогнозируемое центрированное напряжение в точке i , кПа;
 $A_{\sigma 0}$ – коэффициент неравномерности напряжения;
 $A_{\sigma 1}$ – синфазный коэффициент напряжения, кПа;
 $B_{\sigma 1}$ – несинфазный коэффициент напряжения, кПа;
 ω_0 – частота приложенного напряжения, рад/сек;
 t_i – время замера в точке i в массиве данных, сек;
 $se(\sigma)$ – стандартная ошибка в расчетах приложенных напряжений; %;
 σ'_i – центрированное напряжение в точке i массива данных, кПа;
 n – число точек в массиве данных;
 $|\sigma^*|$ – величина напряжения, кПа.

10.6 Определить среднюю величину деформации, определенную каждым датчиком деформации по следующей формуле

$$\overline{\epsilon}_j = \frac{\sum_{i=1}^n \epsilon_{ji}}{n} \quad (12)$$

где: $\overline{\epsilon}_j$ – средняя деформация, замеренная датчиком j , мкм/м;
 ϵ_{ji} – деформация, замеренная датчиком j в точке i массива данных, мкм/м;
 n – число точек в массиве данных.

10.7 Откорректировать данные по деформации, используя формулу

$$\epsilon'_{ji} = \epsilon_{ji} - D_j t_i - \overline{\epsilon}_j \quad (13)$$

где: ϵ'_{ji} – скорректированная величина деформации, замеренная датчиком j в точке i массива данных, мкм/м;
 ϵ_{ji} – деформация, замеренная датчиком j в точке i массива данных, мкм/м;
 D_j – скорость отклонений показаний датчика j ;

t_i – время замера в точке i в массиве данных, сек;

$\overline{\epsilon}_j$ – средняя деформация, замеренная датчиком j , мкм/м.

10.8 По скорректированным и центрированным величинам, полученным от каждого датчика, рассчитать три коэффициента деформации: коэффициент неравномерности, синфазный и несинфазный коэффициенты по следующим формулам

$$A_{\epsilon j0} = \frac{\sum_{i=1}^n \epsilon'_{ji}}{n} \quad , \quad (14)$$

$$A_{\epsilon j1} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n \epsilon'_{ji} \cos(\omega_0 t_i) \quad , \quad (15)$$

$$B_{\epsilon j1} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n \epsilon'_{ji} \sin(\omega_0 t_i) \quad (16)$$

где: $A_{\epsilon j0}$ – коэффициент неравномерности для датчика деформации j , мкм/м;

$A_{\epsilon j1}$ – синфазный коэффициент деформации для датчика j , мкм/м;

$B_{\epsilon j1}$ – несинфазный коэффициент деформации для датчика j , мкм/м;

ϵ'_{ji} – скорректированная и центрированная величина деформации, замеренная датчиком j в точке i массива данных, мкм/м;

ω_0 – частота приложенного напряжения, рад/сек;

t_i – время в точке i в массиве данных, сек;

n – число точек в массиве данных.

10.9 Пользуясь коэффициентами деформации, рассчитать величины и фазовые углы деформации по каждому датчику по следующим формулам

$$|\epsilon_j^*| = \sqrt{A_{\epsilon j1}^2 + B_{\epsilon j1}^2} \quad , \quad (17)$$

$$\theta_{\epsilon_{j1}} = \arctg\left(-\frac{B_{\epsilon_{j1}}}{A_{\epsilon_{j1}}}\right) \quad (18)$$

где: $|\epsilon_j^*|$ – величина деформации, замерена датчиком j, мкм/м;
 $A_{\epsilon_{j1}}$ – синфазный коэффициент деформации для датчика j, мкм/м;
 $B_{\epsilon_{j1}}$ – несинфазный коэффициент деформации для датчика j, мкм/м
 $\theta_{\epsilon_{j1}}$ – фазовый угол деформации для датчика j.

10.10 По каждому датчику рассчитать массив прогнозируемых скорректированных и центрированных деформаций и стандартную ошибку по следующим формулам

$$\widehat{\epsilon}_{ji} = A_{\epsilon_{j0}} + A_{\epsilon_{j1}} \cos(\omega_0 t_i) + B_{\epsilon_{j1}} \sin(\omega_0 t_i) \quad (19)$$

$$se(\epsilon_j) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\widehat{\epsilon}_{ji} - \epsilon'_{ji})^2}{n-4}} \left(\frac{100\%}{|\epsilon_j^*|}\right) \quad (20)$$

где: $\widehat{\epsilon}_{ji}$ – прогнозируемая скорректированная центрированная деформация, замеренная датчиком j в точке i, кПа;

$A_{\epsilon_{j0}}$ – коэффициент неравномерности для датчика деформации j, мкм/м;

$A_{\epsilon_{j1}}$ – синфазный коэффициент деформации для датчика j, мкм/м;

$B_{\epsilon_{j1}}$ – несинфазный коэффициент деформации для датчика j, мкм/м;

ω_0 – частота приложенного напряжения, рад/сек;

t_i – время замера в точке i в массиве данных, сек;

$se(\epsilon_j)$ – стандартная ошибка датчика деформации j; %;

ϵ'_{ji} – скорректированная величина деформации, замеренная датчиком j в точке i массива данных, мкм/м;

n – число точек в массиве данных;

$|\epsilon_j^*|$ – величина деформации, замеренная датчиком j, мкм/м.

10.11 Рассчитать средний фазовый угол, величину деформации и стандартную ошибку по всем датчикам m деформации, используя два

коэффициента неравномерности, выражающих отклонения замеров датчиков деформации по следующим формулам

$$\bar{\theta}_\epsilon = \frac{\sum_{j=1}^m \theta_{\epsilon j}}{m}, \quad (21)$$

$$|\epsilon^*| = \frac{\sum_{j=1}^m |\epsilon_j^*|}{m}, \quad (22)$$

$$se(\epsilon) = \frac{\sum_{j=1}^m se(\epsilon_j)}{m}, \quad (23)$$

$$U_\epsilon = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (|\epsilon_j^*| - |\epsilon^*|)^2}{m-1}} \left(\frac{100\%}{|\epsilon^*|} \right), \quad (24)$$

$$U_\theta = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (\theta_{\epsilon j} - \bar{\theta}_\epsilon)^2}{m-1}} \quad (25)$$

где: $\bar{\theta}_\epsilon$ – средний фазовый угол всех датчиков деформации, град;

$\theta_{\epsilon j}$ – фазовый угол деформации для датчика j, град.;

m – число датчиков деформации;

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

$|\epsilon_j^*|$ – величина деформации, замеренная датчиком j, мкм/м;

$se(\epsilon)$ – средняя стандартная ошибка всех датчиков деформации, %;

U_ϵ – коэффициент неравномерности датчиков деформации, %;

U_θ – коэффициент неравномерности фазового угла, град.

10.12 Рассчитать фазовый угол и динамический модуль, при выбранной частоте (ω), по следующим формулам

$$\theta(\omega) = \bar{\theta}_\epsilon - \theta_\sigma, \quad (26)$$

$$|E^*(\omega)| = \frac{|\sigma^*|}{|\epsilon^*|} \quad (27)$$

где: $\bar{\theta}_\epsilon$ – средний фазовый угол всех датчиков деформации, град.;

θ_σ – фазовый угол напряжения, град.;

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

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

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

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

11 Оформление результатов испытаний

Протокол испытаний должен содержать следующую информацию:

- температура испытаний;
- частота напряжения при проведении испытаний;
- величина динамического модуля;
- значение среднего фазового угла между приложенным напряжением и замеренной деформацией;
- средняя величина деформации;
- величина напряжения;
- стандартная ошибка в замерах приложенного напряжения;
- средняя стандартная ошибка при замерах деформации;
- коэффициент неравномерности при замерах деформации;
- коэффициент неравномерности при замерах фазового угла;
- идентификацию испытуемого асфальтобетона;
- дату проведения измерений;
- дату отбора асфальтобетонной смеси;
- название организации, проводившей измерения;
- ссылку на протокол приготовления образцов с помощью вращательного уплотнителя;
- ссылку на настоящий стандарт и отклонения от его требований;
- ссылку на тип испытательного оборудования;

12 Контроль точности результата испытания

В дополнение к динамическому модулю и фазовому углу, в результате анализа данных определяются четыре показателя качества данных: стандартная

ошибка замеров деформации, средняя стандартная ошибка замеров деформации, коэффициент неравномерности замеров деформации и коэффициент неравномерности замеров фазового угла.

Эти показатели качества данных могут быть использованы для оценки надежности данных. В таблице 6 приведены рекомендуемые пределы допустимых величин показателей качества данных.

Таблица 6

Показатель	Обозначение	Допуск
Стандартная ошибка в замерах приложенного напряжения	$se(\sigma)$	$\leq 10\%$
Средняя стандартная ошибка замеров деформации	$se(\epsilon)$	$\leq 10\%$
Коэффициент неравномерности замеров деформации	U_ϵ	$\leq 10\%$
Коэффициент неравномерности замеров фазового угла	U_θ	$\leq 10\%$

Также, точность результата испытания обеспечивается:

- соблюдением требований настоящего стандарта;
- проведением периодической оценки метрологических характеристик средств измерений;
- проведением периодической аттестации оборудования.

Лицо, проводящее измерения, должно быть ознакомлено с требованиями настоящего стандарта.

Испытательную систему следует калибровать до первоначального использования и, по меньшей мере, раз в год или по требованию изготовителя либо после каждых 200 испытаний.

УДК 625.71.8:006.3/8

ОКС 93.080.20

Ключевые слова: образец, динамический модуль упругости, фазовый угол, асфальтобетонная смесь.

Руководитель разработки

_____ Симчук А.Н.
подпись

Разработчик

_____ Никифоров А.А.
подпись