

УДК 624.712.14

**Сергей Владимирович Лугов**, канд. техн. наук, доц.,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, lugov-madi@rambler.ru

**Екатерина Валерьевна Калёнова**, канд. техн. наук, доц.,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, katerina\_k\_83@mail.ru

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ  
УСТАНОВКИ АМРТ/SPT ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЁТНЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОНА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ  
ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Аннотация.** Авторами произведен анализ возможностей учёта модуля упругости асфальтобетона, получаемого при испытании асфальтобетонных образцов на лабораторной установке АМРТ/SPT, при расчёте дорожных одежд на прочность по действующим в нашей стране нормам. Авторы дают рекомендации по учёту времени действия транспортной нагрузки при расчёте дорожных одежд.

**Ключевые слова:** лабораторная установка АМРТ/SPT, испытание асфальтобетона, модуль упругости асфальтобетона, продолжительность воздействия транспортной нагрузки, расчёт дорожных одежд.

**Sergey V. Lugov**, Ph. D., associate professor,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, lugov-madi@rambler.ru

**Ekaterina V. Kalenova**, Ph. D., associate professor,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, katerina\_k\_83@mail.ru

**ANALYZING THE POSSIBILITIES USING OF THE AMPT/SPT  
ASPHALT MIXTURE PERFORMANCE TESTER TO DETERMINE  
CALCULATED CHARACTERISTICS OF ASPHALT  
IN PAVEMENT DESIGN**

**Abstract.** The authors made an analysis the possibilities accounting of the elastic modulus of asphalt, obtained by testing asphalt samples in the AMPT/SPT mixture

performance tester, when calculating the strength of pavements on existing standards in our country. The authors make recommendations on accounting action time of traffic load in the calculation of pavements.

**Key words:** AMPT/SPT mixture performance tester, testing asphalt, elastic modulus of asphalt, action time of traffic load, pavement design.

### **Введение**

Высокие темпы развития технических средств за последние десятилетия способствовали появлению в дорожной отрасли новых высокоточных лабораторных установок, таких как AMPT/SPT, Universal Technical Machine (UTM) 021, UTM-100, сдвигового прибора SST и других, для исследования различных материалов, в том числе асфальтобетонных образцов и иных битумосодержащих материалов. Эти лабораторные установки зарубежного производства позволяют получить ряд показателей асфальтобетонных образцов, которые являются входными характеристиками для расчётов, выполняемых в соответствии с руководством AASHTO “Mechanistic-empirical pavement design guide”. О возможности применения расчётных параметров асфальтобетона, полученных на подобных установках, при проектировании дорожных одежд по действующим в нашей стране нормам [1] пойдет речь в этой статье.

### **Основная часть и экспериментальные исследования**

Несколько лет назад на кафедру «Строительство и эксплуатация дорог» МАДИ была закуплена лабораторная установка AMPT/SPT австралийской компании IPC Global (рис. 1) для испытания асфальтобетонных образцов.

Основным элементом установки является испытательная камера, для которой производитель разработал уникальный в своём роде стабилометр, дублирующий функции климатической камеры. Стабилометр выполнен с

прозрачной акриловой стенкой, что даёт возможность свободного (на 360°) обзора испытываемого образца. При этом размер керн для испытания составляет 10\*15 см. Подъем и опускание образца осуществляется пневмоустановкой.

Лабораторная установка оснащена контроллером, который с высокой точностью автоматически управляет объемным давлением, изменяющимся в диапазоне 0–210 кПа. Циркуляция воздуха в резервуаре, работающем под давлением, осуществляется при помощи электрического вентилятора, температура регулируется встроенным теплообменником. Температура воздуха измеряется в среднем сечении образца. Диапазон рабочих температур составляет от 4 до 60°С. Специальный контроллер температуры обеспечивает тепловое равновесие уже через три минуты после закрытия камеры стабилметра.

Для получения расчётных параметров асфальтобетонных образцов перед проведением испытания на керн устанавливаются три датчика осевой деформации, которые равномерно располагают по его окружности. Получаемое от датчиков осредненное значение позволяет исключить погрешности, вызываемые неравномерным изгибом, возникающим при испытаниях по определению модуля упругости асфальтобетона. При этом прикладываемая к образцу нагрузка составляет 15 кН при статическом нагружении и 13,5 кН – при динамическом.

Лабораторная установка АМРТ/SPT даёт возможность получить следующие расчётные параметры асфальтобетонных образцов:

- 1) модуль упругости;
- 2) число текучести;
- 3) время текучести.

Разработчик предполагает использовать модуль упругости асфальтобетона для анализа колееобразования и появления усталостных трещин; совершенствования состава асфальтобетонных смесей; оценки

вяжущего и местных материалов. Число текучести – для испытания на ползучесть при повторных нагрузках и анализа колееобразования. Время текучести – для испытания на статическую ползучесть и измерение остаточной деформации при исследовании колееобразования.



*Рис. 1. Общий вид лабораторной установки AMPT/SPT: 1 – встроенный высокопроизводительный гидроцилиндр нагружения; 2 – бесшумный гидронасос с воздушным охлаждением; 3 – устройство подогрева и охлаждения; 4 – система приложения объемного давления; 5 – интегрированный стабилومتر с климатической камерой с собственным модулем управления температурой; 6 – цифровая система управления и сбора данных*

Применительно к нормативным документам по расчёту дорожных одежд, действующим в нашей стране, число и время текучести в существующей методике расчёта дорожных одежд на данном этапе использовать не представляется возможным. В то же время возможности определения модуля упругости асфальтобетона представляют большие перспективы для уточнения расчётных характеристик асфальтобетона, представленных в действующих нормах, в частности для уточнения модулей упругости асфальтобетона, которые используются при расчёте дорожных одежд по критериям упругого прогиба и сдвига.

Модули упругости асфальтобетонов, представленные в МОДН 218-046.01 и рекомендованные для расчёта дорожных одежд по критериям прочности определены при длительности нагружения 0,1 с, которая далеко не всегда соответствует реальной продолжительности нагружения конструкции, что неоднократно отмечалось авторами ранее [2, 3].

Из таблицы 1 видно [4], что при равнинном рельефе местности и реально наблюдаемых продольных уклонах фактическая длительность воздействия транспортной нагрузки на перегонных участках дорог практически всегда ощутимо менее 0,1 с, т.е. менее значения, учитываемого в действующей инструкции по расчёту дорожных одежд, а, следовательно, дорожные одежды, запроектированные с учётом длительности нагружения 0,1 с, могут обладать некоторым запасом прочности, что в целом допустимо. В то же время, при пересечённом рельефе местности или при наличии других факторов, снижающих среднюю скорость транспортных потоков, фактическая длительность нагружения может заметно превышать нормативные 0,1 с. При этом дорожные одежды, запроектированные с учётом длительности нагружения 0,1 с, фактически будут обладать меньшей прочностью, чем требуется, что неприемлемо, поскольку они будут подвержены более интенсивному накоплению остаточных деформаций и разрушений, что в конечном итоге приведёт к сокращению их сроков службы.

Длительность воздействия транспортной нагрузки  $t_{ц}$   
при движении на подъем

Характер местности	Категория дороги	Длительность воздействия транспортной нагрузки $t_{ц}$ , с при продольном уклоне ‰						
		< 30	30...40	41...50	51...60	61...70	71...80	> 80
Равнинный	Ia	0,011	0,012	0,013	0,014	0,014	0,015	0,018
	Iб	0,013	0,014	0,016	0,017	0,018	0,019	0,022
	II	0,016	0,017	0,02	0,021	0,022	0,024	0,028
	III	0,02	0,021	0,024	0,025	0,027	0,029	0,035
	IV	0,025	0,027	0,03	0,033	0,035	0,039	0,047
	V	0,035	0,038	0,044	0,047	0,052	0,057	0,073
Пересеченный	Ia	0,013	0,014	0,016	0,017	0,018	0,019	0,022
	Iб	0,016	0,017	0,018	0,02	0,021	0,022	0,026
	II	0,02	0,021	0,024	0,025	0,027	0,029	0,035
	III	0,025	0,027	0,03	0,033	0,035	0,039	0,047
	IV	0,035	0,038	0,044	0,047	0,052	0,057	0,073
	V	0,062	0,067	0,08	0,089	0,101	0,116	0,165

**Примечание.** При движении на спуск, во всех случаях, значения  $t_{ц}$  принимают по столбцу «< 30» с понижением на 20% (умножив на 0,8).

Лабораторная установка АМРТ/SPT позволяет получить модуль упругости асфальтобетона при различных длительностях нагружения, что позволит дифференцированно назначать толщины конструктивных слоёв дорожной одежды для участков дорог, эксплуатируемых в различных условиях, например для участков с систематическими заторами, участков затяжных подъемов, перекрестков, перегонных участков и т.д. Таким образом, для корректного назначения модуля упругости асфальтобетона, принимаемого для расчёта дорожной одежды по критериям упругого прогиба и сдвига, авторы предлагают вычислять время фактического приложения нагрузки для рассматриваемого участка дороги по формуле 1, которое затем следует соотнести с соответствующей частотой нагружения в Гц (рис. 2).

$$t_{ц} = \frac{D}{\left[ \left( V_P \cdot K_{pc}^3 - t_H \cdot \left( 3,0 + 0,0008 \cdot V_P \cdot K_{pc}^2 \right) \right) - \Delta V \right] \cdot \frac{K_{cr}}{3,6}}, \text{с}, \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр круга, равновеликого отпечатку колеса расчетного автомобиля, м;  $V_P$  – расчетная скорость движения, км/ч;  $K_{pc}^3$  – значение эксплуатационного коэффициента обеспеченности расчетной скорости на рассматриваемом участке дороги (учитывает влияние на скорость движения: продольные уклоны более 30%, наличие кривых малого радиуса, участки с систематическими заторами, участки затяжных подъемов, перекрестки и др.);  $t_n$  – гарантийный коэффициент доверительной вероятности при 95% обеспеченности, равный 1,64;  $\Delta V$  – снижение скорости из-за грузовых автомобилей, движущихся в потоке, км/ч;  $K_{ct}$  – коэффициент перехода от скорости транспортного потока к средней скорости грузовых автомобилей, может быть принят равным 0,92.

	25 Hz	20 Hz	10 Hz	5 Hz	2 Hz	1 Hz	0.5 Hz	0.2 Hz	0.1 Hz
Dynamic modulus (MPa)	8619	8014	6650	5498	4222	3428	2764	2043	1628
Phase angle (Degrees)	22.69	23.09	24.82	26.53	28.83	30.37	31.71	33.32	34.01
Average temperature (°C)	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
Average confining pressure (kPa)	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7
Average micro-strain	93	94	96	96	96	98	98	98	99
Load drift (%)	-0.1	0.1	0.5	0.9	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
Load standard error (%)	2.1	1.9	1.5	1.1	0.8	0.5	0.3	0.4	0.5
Average deformation drift (%)	-181.1	-183.1	-190.5	-196.9	-199.8	-201.4	-206.4	-211.4	-214.2
Average deformation standard error (%)	3.9	4.0	3.6	2.9	2.0	1.5	1.1	0.9	1.1
Deformation uniformity (%)	5.0	3.4	2.6	3.3	4.1	4.5	4.8	5.0	5.2
Phase uniformity (Degrees)	0.8	1.0	0.9	0.9	0.7	0.6	0.4	0.2	0.3

Рис. 2. Показатели, получаемые при испытании асфальтобетонного образца на установке АМРТ/SPT по определению динамического модуля упругости

Далее на установке АМРТ/SPT следует производить испытание асфальтобетонных образцов с целью получения модуля упругости при различных длительностях нагружения (от 0,04 с до 10 с или от 25 Гц до 0,1 Гц) и температурах (от 4 до 60°). После проведения испытаний программа выдаёт следующий протокол (рис. 3), по которому определяют значение модуля упругости асфальтобетона при известной длительности нагружения (частоте). Данное значение модуля упругости асфальтобетона должно быть использовано в расчёте дорожной одежды по критериям упругого прогиба и сдвига.

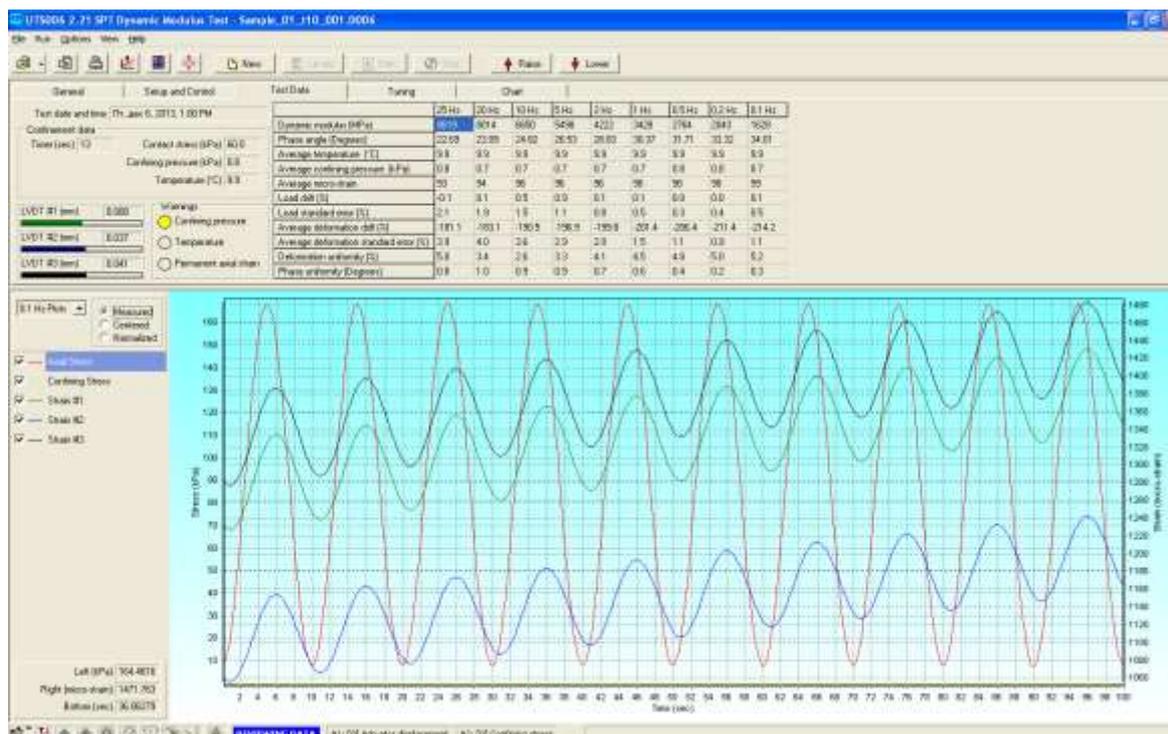


Рис. 3. Результаты испытаний асфальтобетонного образца на установке AMPT/SPT

Хотелось бы также развеять опасения, возникающие у некоторых специалистов по поводу предложения дифференцированного назначения дорожных одежд для участков дороги, эксплуатируемых в различных условиях при различной длительности нагружения. В основном все возражения сводятся к тому, что на одной и той же дороге с одинаковой интенсивностью движения требуемый модуль упругости дорожной одежды будет одинаков, следовательно, толщины конструктивных слоёв дорожной одежды на всех участках должны быть одинаковы. Однако, на скорость движения грузовых автомобилей, а в конечном итоге на продолжительность действия транспортной нагрузки, от которой существенно будут зависеть расчётные характеристики асфальтобетона, используемые при расчёте дорожных одежд по критериям упругого прогиба и сдвига, будут оказывать существенное влияние элементы плана и профиля дороги, наличие пересечений в одном уровне, заторы. Таким образом, для обеспечения соблюдения условий прочности дорожной одежды по рассматриваемым критериям, с учётом влияния различных

элементов дороги на скорость движения, необходимо корректировать толщину конструктивных слоёв дорожной одежды на каждом характерном участке дороги исходя из фактической продолжительности действия транспортной нагрузки.

### **Выводы**

В заключении данной статьи следует отметить, что использование лабораторной установки АМРТ/SPT открывает широкие перспективы не только по части уточнения расчётных характеристик асфальтобетона, представленных в действующих нормах, но и позволяет получить модули упругости материалов, данные об упругих характеристиках которых отсутствуют в действующей нормативной документации (ЩМА, серо-асфальтобетон, а также другие битумоминеральные материалы). Кроме того, лабораторная установка АМРТ/SPT может быть использована и уже используется рядом исследователей (Т.А. Ларина, С.В. Шведенко, Н.А. Мелик-Багдасарова, А.В. Ващенко и некоторые другие) для подбора состава асфальтобетонных смесей и контроля качества образцов и кернов, а также при проведении НИР, посвященных исследованию реологических свойств битумо-минеральных материалов и расчёту дорожных одежд.

### **Список литературы**

1. Проектирование нежёстких дорожных одежд. ОДН 218.046-01 / Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства. М., 2001. 145 с.

2. Васильев А.П., Лугов С.В., Каленова Е.В. Направления совершенствования проектирования и принципы рационального алгоритма расчёта нежёстких дорожных одежд // Транспортное строительство. 2008. Вып. 4.

3. Лугов С.В., Каленова Е.В. Особенности проектирования дорожных конструкций с учётом их работы в современных условиях // *Дороги России XXI века*. 2012. № 4.

4. Рекомендации по выявлению и устранению колеи на нежёстких дорожных одеждах. Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства. М., 2002. 113 с.

### **References**

1. Proektirovanie nezhestkikh dorozhnyh odezhd. ODN 218.046-01 / Ministerstvo transporta Rossijskoj Federacii. Gosudarstvennaja sluzhba dorozhnogo hozjajstva, Moscow, 2001. 145 p.

2. Vasil'ev A.P., Lugov S.V., Kalenova E.V. *Transportnoe stroitelstvo*, 2008, vyp. 4.

3. Lugov S.V., Kalenova E.V. *Dorogi Rossii XXI veka*, 2012, no. 4.

4. Rekomendacii po vyjavleniju i ustraneniu kolej na nezhestkikh dorozhnyh odezhdah. Ministerstvo transporta Rossijskoj Federacii. Gosudarstvennaja sluzhba dorozhnogo hozjajstva, Moscow, 2002, 113 p.