

УДК 625.731
DOI: 10.36979/1694-500X-2023-23-4-119-125

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Э.М. Каримов, А.В. Цой, М.Ы. Сатаров

Аннотация. Рассмотрены модули упругости слоев дорожной одежды и подстилающего грунта земляного полотна, которые являются основными характеристиками, применяемыми в расчетах прочности дорожной одежды. Проведен анализ сертифицированных способов измерения модуля упругости дорожной одежды. Для оперативного контроля строительства и последующих расчетов минимальной прочности дорожной одежды предложен новый способ определения модуля упругости статическим штампом. Преимущества штампových испытаний дорожной одежды заключаются в простоте применяемого оборудования и измерительных приборов, методики проведения испытаний, возможности одновременного определения модулей упругости и модулей деформации грунтов.

Ключевые слова: модуль упругости; модуль деформации; штампové испытания; земляное полотно; автомобильные дороги.

ТАЛАА ШАРТЫНДА АВТОМОБИЛЬ ЖОЛДОРУНУН ЖЕР КАТМАРЫНЫН ИЙКЕМДҮҮЛҮГҮНҮН МОДУЛУН АНЫКТОО

Э.М. Каримов, А.В. Цой, М.Ы. Сатаров

Аннотация. Макалада жол кыртышынын бекемдигин эсептөөдө колдонулуучу негизги мүнөздөмөлөр болуп саналган жол кыртышынын катмарларынын жана жер катмарынын астындагы кыртыштын ийкемдүүлүгүнүн модульдары каралды. Жол катмарынын ийкемдүүлүк модулу өлчөөнүн сертифицирталган ыкмаларына талдоо жүргүзүлдү. Жол катмарынын минималдуу бекем курулушун жана андан кийинки эсептөөлөрдү ыкчам көзөмөлдөө үчүн статикалык штамптын ийкемдүү модулу аныктоонун жаңы ыкмасы сунушталды. Жол кыртышын штамптоо сыноолорунун артыкчылыктары колдонулуучу жабдуулардын жана өлчөө приборлорунун жөнөкөйлүгүндө, сыноолорду жүргүзүү методикасында, топурактардын ийкемдүүлүк модульдарын жана деформация модульдарын бир убакта аныктоо мүмкүнчүлүгүндө турат.

Түйүндүү сөздөр: ийкемдүүлүк модулу; деформация модулу; штамптоо сыноосу; жер кыртышы; автомобиль жолдору.

DETERMINATION OF THE MODULUS ELASTICITY OF THE ROADBED IN THE FIELD

E.M. Karimov, A.V. Tsoi, M.Y. Satarov

Abstract. The elastic modulus of the layers of the pavement and the underlying soil of the roadbed are the main characteristics used in the calculations of the strength of the pavement. The implementation of operational control of the elastic modulus of the pavement layers and the assessment of their compliance with design indicators is an important element of the technological process of road construction. There are several certified methods for measuring the modulus of elasticity of the pavement, however, in our opinion, for operational control of construction and subsequent determination by calculations of the minimum strength of the pavement, the most acceptable method is the determination of the modulus of elasticity by a static stamp. The advantages of stamped pavement tests are the simplicity of the equipment and measuring instruments used, the testing methodology, the possibility of simultaneous determination of elastic modulus and soil deformation modulus.

Keywords: modulus of elasticity; modulus of deformation; stamp tests; roadbed; highways.

Модули упругости слоев дорожной одежды и подстилающего грунта земляного полотна являются основными характеристиками, применяемыми в расчетах прочности дорожной одежды.

Общий модуль упругости дорожной одежды и грунтов земляного полотна определяли на основании ОДМ 218.5.007-2016 «Методические рекомендации по определению модуля упругости статическим штампом». По условиям рекомендаций измерения должны производиться при температуре окружающего воздуха в интервале от 0 до 40 °С.

Испытание штамповой установкой может проводиться на жестком покрытии, основании и земляном полотне из укрепленных и не укрепленных вяжущими крупнозернистых, разнозернистых, и мелкозернистых материалов [1]. Зерна $\frac{1}{4}$ диаметра нагрузочной плиты не должны находиться непосредственно под её подошвой. Нагрузочная плита представляет собой металлический диск с цилиндрической опорой по центру для гидроцилиндра. В качестве материала для нагрузочной плиты штамповой установки применяется сталь марки S 355 JO DIN EN 10025-1, либо её аналог. Нагрузочные плиты диаметром 300 мм должны иметь толщину не менее 25 мм. В качестве нагрузочного устройства применяется 10-тонный домкрат.

Технические характеристики:

- Максимальная грузоподъемность: 10 т.
- Высота подхвата: 200 мм.
- Ход винта: 60 мм.
- Максимальная высота подъёма: 385 мм.
- Вес изделия: 4 кг.

При подготовке к испытаниям штамп устанавливали на испытываемую поверхность после тщательного выравнивания ее россыпью тонкого слоя песка (1...5 мм) без нарушения структуры материала с тщательной притиркой или гипсовой кашицей толщиной в несколько миллиметров. Сжимающую нагрузку измеряли с помощью динамометра ДОСМ-3-5 (рисунок 1). Динамометр образцовый переносной серии ДОСМ (в дальнейшем – динамометр) предназначен для проверки испытательных рабочих средств измерений при статистических нагрузках. Динамометр ДОСМ внесен в Государственный реестр и утвержден к выпуску. Динамометры эталонные переносные ДОСМ предназначены для проверки рабочих средств измерений статических сжимающих усилий. Динамометры представляют собой упругое стальное цилиндрическое тело с механическим измерительным индикатором часового типа и переходными элементами – резьбовыми шпильками, соединенными с упругим элементом при подготовке к работе, и фиксируемые контргайками при нагрузке, превышающей наибольший предел измерения на 10 %.



Рисунок 1 – Динамометр ДОСМ-3-5, 5 тс/50 кН

Технические характеристики:

- Соединение переходных элементов с упругим телом динамометра с натягом позволило сократить габаритные размеры и массу большегрузных динамометров и увеличить их точность и стабильность показаний в течение всего межповерочного периода.
- Отсчет показаний динамометров ведется в условных единицах – делениях шкалы индикатора часового типа. При поверке динамометра составляется таблица номинальных значений силы в делениях часового индикатора, которая используется при поверке испытательных машин и стендов.
- Динамометры поставляются в деревянных футлярах с переходными элементами, паспортом и свидетельством с таблицей номинальных значений, выданным органами Госстандарта России.

Поверка динамометра и его функциональные особенности. ДОСМ-3-5 динамометр образцовый переносной 3-го разряда сжатия механический предназначен для поверки рабочих средств измерений и применяется в цехах и лабораториях предприятий промышленного и кооперативного назначения, в лабораториях научно-исследовательских институтов и учебных заведений.

Поверку динамометра ДОСМ-3-5 сначала провели на компрессионном приборе КПП-1 (рисунок 2) в лаборатории Ошского технологического университета им. акад. М.М. Адышева (рисунок 1, таблица 1), задавая нагрузку от 0 до 5098,581 МПа. Получили соотношения для каждой нагрузки $\text{tg } \alpha = 1.62$. Разность между наибольшим и наименьшим показаниями трех измерений не превышала 0,1 % от наибольшего предела измерения. Поверка также была произведена на гидравлическом прессе П-10 (таблица 2, рисунок 3). В среднем получили: $\text{tg } \alpha = 1.62$, условия были выполнены.

Таблица 1 – Результаты поверки ДОСМ-3-5, проведенной на компрессионном приборе КПП-1

1 цикл поверки ДОСМ-3-5			2 цикл поверки		
Р, кг	Показатель индикатора при нагрузке	Показатель индикатора при разгрузке	Показатель индикатора при нагрузке	Показатель индикатора при разгрузке	Среднее значение
0	0,00	0,00	0,00	0,00	
30	0,0499	0,05	0,050	0,0500	0,05
60	0,0950	0,099	0,099	0,099	0,098
90	0,145	0,150	0,146	0,150	0,146
120	0,193	0,198	0,195	0,198	0,194
150	0,242	0,245	0,243	0,245	0,243
180	0,290	0,295	0,291	0,295	0,295
210	0,340	0,345	0,341	0,345	0,341
240	0,390	0,395	0,391	0,395	0,391
270	0,440	0,442	0,440	0,442	0,440
300	0,490	0,491	0,490	0,491	0,490
330	0,539	0,541	0,539	0,540	0,539
360	0,588	0,590	0,585	0,590	0,587
390	0,635	0,639	0,634	0,639	0,635
420	0,682	0,685	0,682	0,686	0,681
450	0,729	0,731	0,730	0,732	0,730
480	0,778	0,779	0,776	0,779	0,777
510	0,831		0,831		0,831

Таблица 2 – Результаты поверочных работ на гидравлическом прессе П-10

Р, Н	Показатель индикатора при нагрузке	Показатель индикатора при нагрузке
500	0,81	0,82
1000	1,61	1,60
1500	2,43	2,43
2000	3,27	3,26
2500	4,06	4,06
3000	4,90	4,90



Рисунок 2 – Поверка на компрессионном приборе КПП-1



Рисунок 3 – Поверка ДОСМ-3-5 на гидравлическом прессе П-10

Таблица 3 – Ступени нагрузки–разгрузки

Ступени нагрузки – разгрузки σ , МН/м ²														
Первичное нагружение						Первичное нагружение			Первичное нагружение					
0,081	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,25	0,125	0,01	0,081	0,1	0,2	0,3	0,4	

Таблица 4 – Результаты штамповых испытаний

Этап	Первичное нагружение						Разгрузка			Вторичное нагружение				
σ , МН/м ²	0,081	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,25	0,125	0,01	0,081	0,1	0,2	0,3	0,4
S, мм	0,1	0,18	0,3	0,52	0,72	0,81	0,70	0,41	0,110	0,21	0,24	0,45	0,62	0,76

Таблица 5 – Полученные результаты при нагрузке 30 и 70 % от максимального ее значения

σ_1^{v1}	σ_2^{v1}	S_1^{v1}	S_2^{v1}	σ_1^{v2}	σ_2^{v2}	S_1^{v2}	S_2^{v2}
МН/м ²	МН/м ²	мм	мм	МН/м ²	МН/м ²	мм	мм
0,15	0,35	0,24	0,62	0,15	0,35	0,35	0,69

В качестве устройства для измерения осадки плиты применяли балку Бенкельмана (рисунок 4).

С целью определения модуля упругости необходимо было провести испытание с двухэтапным нагружением: определением модуля общей деформации и модуля упругой деформации (модуля упругости).

Для определения модуля общей деформации E_{v1} нагрузка осуществляется шестью ступенями нагружения с приблизительно одинаковыми интервалами между ними, до достижения максимальной нагрузки σ_{max} .

Нагрузочную плиту разгружали в три ступени: 50, 25 и 2 % от максимальной нагрузки. После снятия нагрузки был проведен следующий цикл нагружения для определения модуля упругой деформации (модуля упругости), однако это сделали только по предпоследней ступени цикла первичного нагружения, чтобы сохранить предварительную нагрузку (таблица 1). При приложении и снятии нагрузки, как правило, следует начинать с изменения нагрузки до следующей ступени нагружения. Для несущих слоев в дорожном строительстве время ожидания может быть сокращено до 60 с. Нагрузка на всех ступенях нагружена должна оставаться постоянной. Полученные значения измерений заносили перед каждым изменением нагрузки в протокол испытаний (таблицы 3–5).

В дорожном строительстве испытание статическим штампом проводят, как правило, с применением нагрузочной плиты диаметром 300 мм [2, 3]. При этом нагрузку увеличивает до тех пор, пока под нагрузкой плитой не будет достигнуто нормальное напряжение 0,5 МН/м².

Если прежде была получена осадка 5 мм, то измеренное при этом нормальное напряжение считается максимальным.

Далее, в соответствии с описанным выше алгоритмом (рисунок 5), был определен модуль общей деформации E_{v1} :

$$\Delta\sigma_2^{v1} = \sigma_2^{v1} - \sigma_1^{v1} = 0,35 - 0,15 = 0,20 \text{ МН/м}^2$$

$$\Delta S_1^{v1} = S_2^{v1} - S_1^{v1} = 0,00062 - 0,00024 = 0,00038$$



Рисунок 4 – Штамповые испытания конструкции дорожной одежды

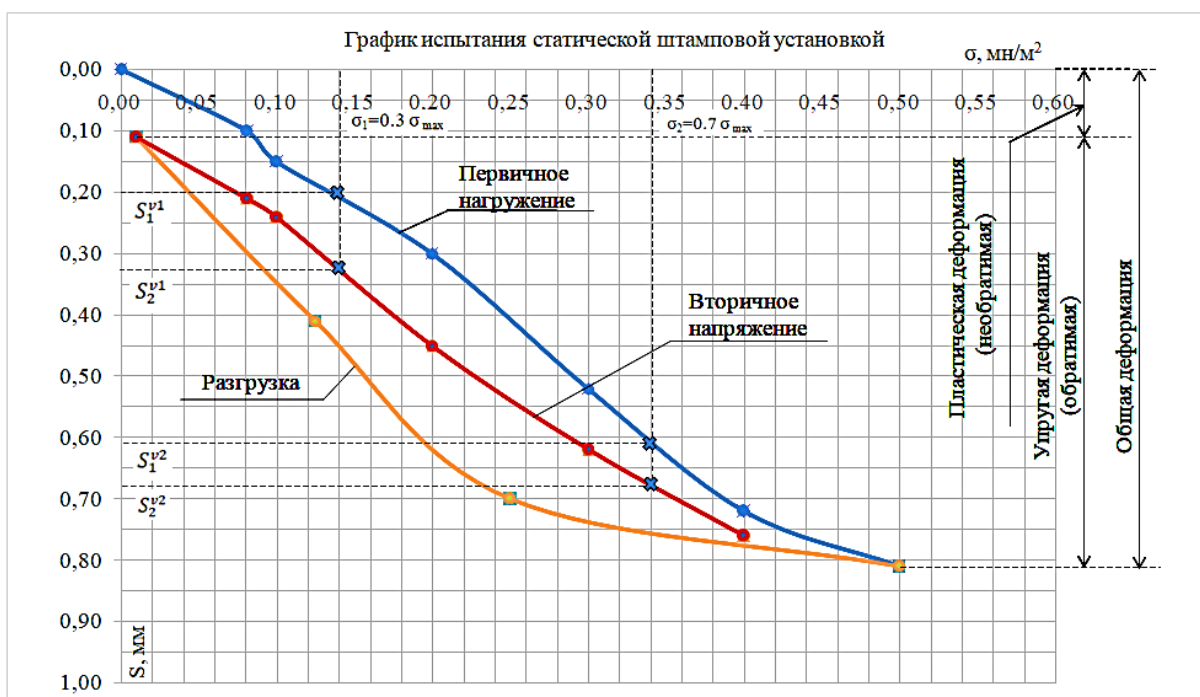


Рисунок 5 – График испытания статической штамповой установкой

$$E_{v1} = 0,75 \cdot D \cdot \frac{\Delta\sigma^{v2}}{\Delta S^{v1}} = 0,75 \cdot 0,3 \cdot \frac{0,20}{0,00038} = 118 \text{ МН/м}^2$$

Затем был рассчитан модуль упругости E_{v2} :

$$\Delta\sigma^{v2} = \sigma_2^{v2} - \sigma_1^{v2} = 0,35 - 0,15 = 0,20 \text{ МН/м}^2$$

$$\Delta S^{v2} = S_2^{v2} - S_1^{v2} = 0,00069 - 0,00035 = 0,00034 \text{ м}$$

$$E_{v2} = 0,75 \cdot D \cdot \frac{\Delta\sigma^{v2}}{\Delta S^{v2}} = 0,75 \cdot 0,3 \cdot \frac{0,20}{0,00034} = 132 \text{ МН/м}^2$$

В завершение был вычислен модульный коэффициент: K_E :

$$K_E = \frac{E_{v2}}{E_{v1}} = \frac{160}{118} = 1,12$$

В результате испытаний статической штамповой установкой был определён модуль упругости объекта: $E_{v2} = 132 \text{ МН/м}^2$ при $K_E = 1,12$.

Таким образом, в результате испытаний статической штамповой установкой был определен модуль упругости земляного полотна реконструируемой автомобильной дороги Ош – Бишкек.

Поступила: 09.03.23; рецензирована: 24.03.23; принята: 28.03.23.

Литература

1. *Пролыгин А.С.* Влияние влажности грунта на деформационные свойства грунтощебеночных образцов при сжатии / А.С. Пролыгин, Г.В. Долгих, А.Л. Калинин, Н.П. Александрова // Вестник СибАДИ. 2021. № 18(5). С. 614–632. URL: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-5-614-632>.
2. *Пролыгин А.С.* Влияние содержания щебня на модуль деформации грунтощебеночного слоя / А.С. Пролыгин, А.С. Александров, Г.В. Долгих, В.В. Чусов // Вестник СибАДИ. 2021. № 18(6). С. 772–789. URL: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-6-772-789>.
3. *Матвеев С.А.* Определение деформационных характеристик щебеночно-песчаного основания, армированного стальной геосеткой / С.А. Матвеев, Н.Н. Литвинов // Вестник СибАДИ. 2013. № 4(32). С. 57–61.