

СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ

УДК 625.75

А. В. Лисянец, **Н. П. Дырда**, канд. техн. наук

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССА РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИЙ В ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЕ НЕЖЕСТКОГО ТИПА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Разработана лабораторная установка для измерения величины накопления деформаций в эквивалентных слоях дорожной конструкции с жестким покрытием. В статье приведено описание принципа работы лабораторной установки, выбор условий проведения эксперимента и выведенные на основании его результатов уравнения регрессии. Для проведения исследований был использован метод планирования эксперимента.

Ключевые слова: дорожная одежда, величина накопленной деформации, экспериментальная установка, уравнение регрессии

Анализ предшествующих исследований и постановка проблемы

Под воздействием многократно повторяющихся нагрузок даже на ранней стадии эксплуатации верхних слоев покрытия из горячих асфальтобетонов наблюдается интенсивное развитие деформаций, что приводит к снижению ровности покрытия. Следствием является сокращение срока службы дорожной одежды, снижение безопасности движения и возрастание себестоимости автомобильных перевозок.

Современные общепринятые принципы конструирования и расчета дорожных одежд не позволяют запроектировать конструкцию, не подвергающуюся накоплению деформаций. За последние годы в направлении исследования развития деформаций и совершенствования конструкции жестких дорожных одежд была проведена целая серия научных разработок. Проблеме накопления деформаций в дорожной одежде были посвящены работы [1–9]. В частности, методике определения устойчивости асфальтобетонных покрытий к развитию деформаций под воздействием динамических нагрузок посвящены исследования А. С. Мирончука, выполненная в Ростовском государственном архитектурно-строительном университете [10]. Однако проблема установления закономерностей процессов развития деформаций в дорожных конструкциях остается нерешенной.

В сложившихся условиях исследования по регулированию процесса развития деформаций в дорожных одеждах являются актуальными.

Цель работы

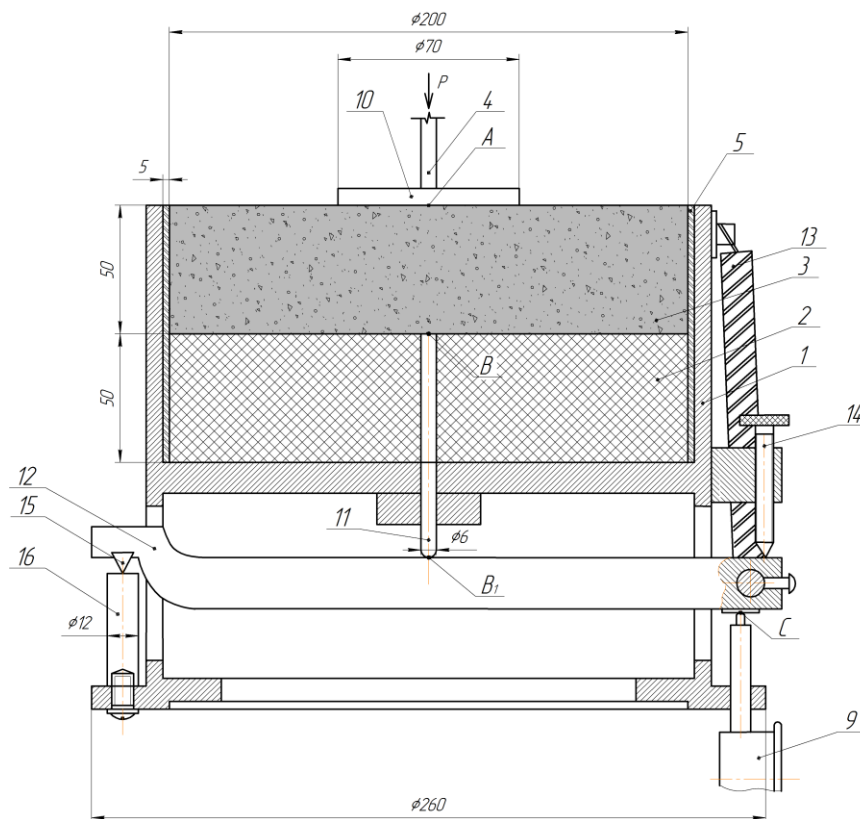
Исследование процесса развития деформаций в эквивалентных слоях дорожной одежды для оптимизации ее прочностных параметров.

Основной материал исследования

Для реализации методики проведения экспериментальных исследований процесса накопления деформаций асфальтобетонных покрытий и упругого основания жестких дорожных одежд в лабораторных условиях была создана установка.

Конструктивные элементы установки приведены на рисунке 1 (а, б).

a)



б)

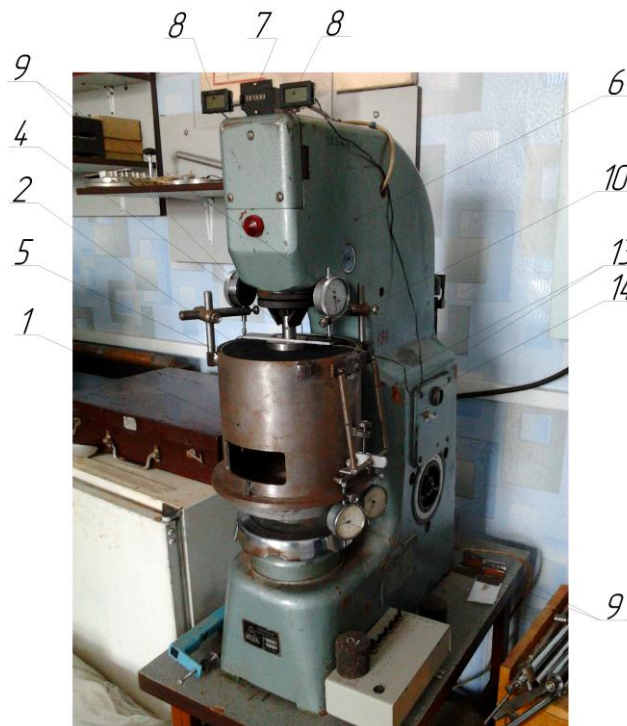


Рисунок 1 – Лабораторная установка

1 – корпус, 2 – резиновый диск, 3 – асфальтобетонный образец, 4 – нагрузочный штамп, 5 – гипсовая заливка, 6 – нагрузочное устройство, 7 – счетчик циклов, 8 – термодатчик, 9 – индикатор часового типа, 10 – пластина, 11 – стержень, 12 – рычаг, 13 – пружина, 14 – регулировочный винт, 15 – треугольная призма, 16 – опора

Установка состоит из корпуса 1, в который помещается резиновый диск 2 диаметром 200 мм и высотой 50 мм и цилиндрический образец асфальтобетона 3 таких же размеров. Размеры испытуемого образца и нагрузочного штампа 4 были выбраны по аналогии с исследованиями [10], во время проведения которых было установлено, что в испытуемой модели диаметром 200 мм и высотой 50 мм под нагрузками нагрузочного штампа диаметром 70 мм напряженно-деформационное состояние будет максимально приближенным к реальным условиям эксплуатации покрытия дорожной одежды.

Зазор между образцом и стенками корпуса установки заполнен гипсовой заливкой 5. С помощью нагрузочного устройства 6 создается динамическое воздействие с частотой 10 колебаний в минуту. Данная частота обоснована техническими возможностями нагрузочного устройства. Количество нагружений подсчитывается при помощи счетчика циклов 7. Расчетная нагрузка, согласно методике экспериментальных исследований, создавалась на двух уровнях: нижний – 0,5 МПа, верхний – 0,7 МПа. Испытания проводились при температуре 20°C, которая контролировалась термодатчиками 8.

Замер линейной деформации асфальтобетонного слоя осуществлялся при помощи индикаторов часового типа 9, установленных на пластине 10. Линейный размер деформаций упругого основания через стержень 11 передавался на рычаг 12 в точке B_1 . Пружины 13 и регулировочный винт 14 предотвращают образование зазора между рычагом 12 и стержнем 11. На рычаге закреплена треугольная призма 15, которая опирается на опору 16. Значения деформации измеряются в точке С с помощью двух индикаторов 9. Для более точного результата выбирали среднее значение показаний двух индикаторов.

В качестве независимых переменных плана проведения эксперимента были выбраны: величина приложенной нагрузки (X_1) и значение модуля упругости грунтового основания (X_2). Величина основного уровня варьирования нагрузки, согласно нормам проектирования нежестких дорожных одежд, принята 0,6 МПа [11]. Основной уровень варьирования модуля упругости основания выбран 75 МПа, согласно разработкам профессора Н. Н. Иванова [12]. Уровни варьирования факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни варьирования факторов

Факторы	Величина приложенной нагрузки X_1 (P, Мпа)	Модуль упругости основания X_2 (E, Мпа)
Основной уровень (X_{i_0})	0,6	75
Интервал варьирования (ΔX_i)	0,1	15
Верхний уровень ($x_i = 1$)	0,7	90
Нижний уровень ($x_i = -1$)	0,5	60

Результаты проведенного эксперимента – измерения линейных размеров деформаций на поверхности асфальтобетонного слоя (δ_A) и на границе слоев асфальтобетона и упругого основания (δ_B), приведены в таблице 2. Однородность ряда построчных дисперсий полученных результатов проверялась по критерию Кохрена.

Таблица 2 – Результаты проведения эксперимента

X_1	X_2	δ_A	δ_B
+1	+1	3,17	1,85
+1	-1	3,74	2,41
-1	+1	2,78	1,45
-1	-1	3,35	2,01
+1	0	3,52	2,18
-1	0	3,13	1,78
0	+1	2,99	1,67
0	-1	3,65	2,23
0	0	3,35	2,00

На основании полученных результатов измерений были разработаны 3 статистические модели: линейная, квадратичная и экспоненциальная. При проверке на адекватность по критерию Фишера F было выявлено, что наиболее адекватные результаты дает квадратичная модель.

Таким образом, модель исследуемого процесса в общем виде следующая:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1x_2 + b_4x_1^2 + b_5x_2^2, \quad (1)$$

где b_0, \dots, b_5 – коэффициенты уравнения.

После расчета коэффициентов уравнения и определения их статистической значимости для определения величины линейной деформации на поверхности асфальтобетонного слоя (δ_A) получено следующее уравнение регрессии:

$$\delta_A = 3,30 - 0,05x_1 + 0,02x_2 - 0,1x_1^2 - 0,32x_2^2, \text{ мм.} \quad (2)$$

В натуральном масштабе уравнение имеет вид:

$$\delta_A = 0,43 - 11,5P + 0,17E - 10P^2 - 0,01E^2, \text{ мм.} \quad (3)$$

Уравнение регрессии для определения величины линейной деформации на границе слоев асфальтобетона и упругого основания (δ_B) в натуральном масштабе имеет вид:

$$\delta_B = 0,15 - 6,8P + 0,16E - 8P^2 - 0,0002E^2, \text{ мм.} \quad (4)$$

Графические изображения полученных результатов экспериментального исследования представлены на рисунках 2 и 3.

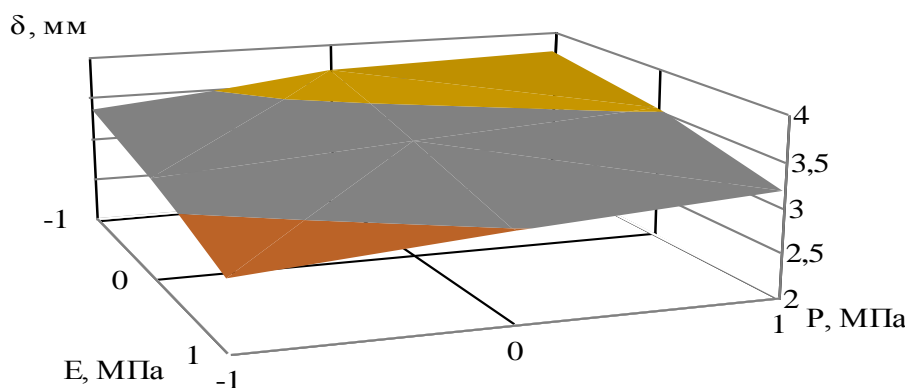


Рисунок 2 – Графическое изображение результатов измерений деформаций в точке А

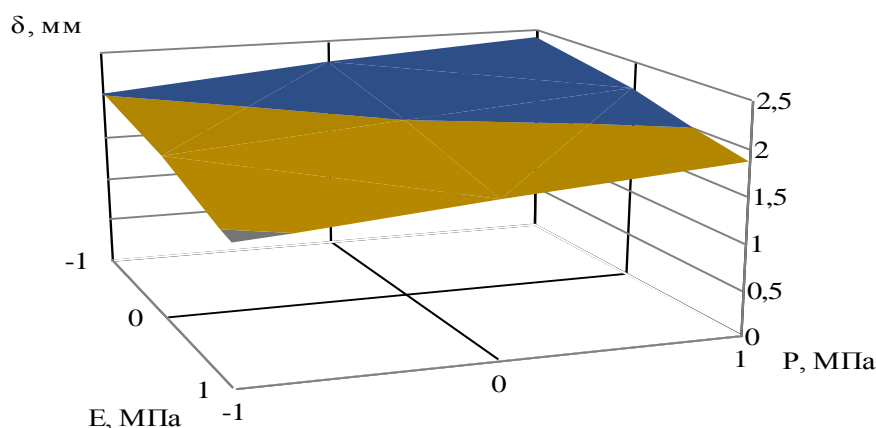


Рисунок 3 – Графическое изображение результатов измерений деформаций в точке В

Для проверки адекватности модели определялись расчетные значения отклика. Экспериментальные и вычисленные значения величины линейной деформации в точках А и В занесены в таблицы 3 и 4.

Таблица 3 – Сопоставление экспериментальных и вычисленных данных в точке А

Номер опыта n	$\delta_{n_{\text{эсп}}}$	$\delta_{n_{\text{расч}}}$	$ \Delta\delta $	$\Delta\delta^2$
1	3,17	3,00	0,17	0,0289
2	2,78	2,60	0,18	0,0324
3	3,74	3,60	0,14	0,0196
4	3,35	3,20	0,15	0,0225
5	2,99	2,90	0,09	0,0081
6	3,65	3,50	0,15	0,0225
7	3,52	3,40	0,12	0,0144
8	3,13	3,00	0,13	0,0169
9	3,35	3,30	0,05	0,0025
$\sum \Delta\delta^2$				0,1678

Таблица 4 – Сопоставление экспериментальных и вычисленных данных в точке В

Номер опыта n	$\delta_{n_{\text{эсп}}}$	$\delta_{n_{\text{расч}}}$	$ \Delta\delta $	$\Delta\delta^2$
1	1,85	1,68	0,17	0,0289
2	1,45	1,41	0,04	0,0016
3	2,41	2,24	0,17	0,0289
4	2,01	1,97	0,04	0,0016
5	1,67	1,59	0,08	0,0064
6	2,23	2,31	0,08	0,0064
7	2,18	2,04	0,14	0,0196
8	1,78	1,77	0,01	0,0001
9	2,00	1,95	0,05	0,0025
$\sum \Delta\delta^2$				0,0960

Данные таблиц 3 и 4 использовались для определения дисперсии неадекватности, с помощью которой вычислен критерий Фишера для проверки соответствующих моделей на адекватность. Гипотеза об адекватности модели ни в первом случае, ни во втором – не отвергается.

Выводы

В результате проведенных исследований выявлено, что наибольшее накопление деформации наблюдается в конструкции с наименьшим модулем упругости основания 60 МПа при приложении наибольшей нагрузки 0,7 МПа (на поверхности асфальтобетонного слоя – 3,74 мм, на границе слоев асфальтобетона и упругого основания – 2,41 мм), а наименьшее – в конструкции с наибольшим модулем упругости основания 90 МПа при приложении наименьшей нагрузки 0,5 МПа (на поверхности асфальтобетонного слоя – 2,78 мм, на границе слоев – 1,45 мм).

Полученные в результате исследования уравнения регрессии дают возможность регулировать величину накопления остаточной деформации путем варьирования параметров нагрузки и модуля упругости грунтового основания и таким образом оптимизировать выбор данного прочностного параметра дорожной конструкции.

С помощью разработанной установки в дальнейшем возможно исследование процесса развития деформаций в конструкциях с различными типами асфальтобетонного покрытия дорожной одежды. Наличие термодатчиков дает возможность варьирования температуры окружающей среды для проведения экспериментов как при низких, так и при высоких температурах.

Список литературы

1. Матуа, В. П. Прогнозирование и учет накопления остаточных деформаций при проектировании нежестких дорожных одежд / В. П. Матуа, Е. М. Баранова, Д. В. Чирва // Строительство 2005 : материалы юбилейной Международной научно-практической конференции. – Ростов н/Д. : РГСУ, 2006. – С. 20–21.
2. Углова, Е. В. Теоретические и методологические основы оценки остаточного усталостного ресурса асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.11 / Е. В. Углова. – Волгоград, 2009. – 38 с.
3. Мордвин, С. С. Совершенствование метода определения прочности нежестких дорожных одежд динамическим нагружением : автореф. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / С. С. Мордвин. – М., 2011. – 23 с.
4. Осинская, В. А. Влияние вибрации нежестких дорожных одежд на их прочность / В. А. Осинская. – М. : ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», 2014. – 15 с.
5. Jin-Chun, Chai Traffic-Load-Induced Permanent Deformation of Road on Soft Subsoil / Chai Jin-Chun, N. Miura // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. – 2002, November. – 10 p.
6. Чирва, Д. В. Влияние упруго-вязко-пластичных свойств асфальтобетона на накопление остаточных деформаций при пространственном динамическом нагружении дорожных конструкций : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / Д. В. Чирва. – Волгоград, 2010. – 23 с.
7. Monismith, C. L. Permanent Deformation (Rutting) Considerations in Asphalt Concrete Pavement Sections / C. L. Monismith, A. A. Tayebali // Conference: Association of Asphalt Paving Technologists Technical Sessions. – Williamsburg, Virginia, USA, 1988.
8. Nonlinear Elastic Viscous with Damage Model to Predict Permanent Deformation of Asphalt Concrete Mixes / Jorge Sousa, Shmuel L. Weissman, Jerome L. Sackman, Carl L. Monismith / Transportation Research Board. – 1993. – p. 80–93.
9. Матвеев, С. А. Моделирование и расчет армированных многослойных плит на упругом основании : автореф. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / С. А. Матвеев. – Новосибирск, 2006. – 20 с.
10. Мирончук, А. С. Метод определения устойчивости асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог к накоплению остаточных деформаций под воздействием динамических нагрузок : автореф. ... канд. техн. наук : 05.23.11 / С. А. Мирончук. – Воронеж, 2015. – 18 с.
11. Проектирование нежестких дорожных одежд. Отраслевые дорожные нормы : ОДН 218.046-01. – М. : Росавтодор, 2001. – 61 с.
12. Иванов, Н. Н. Требования к уплотнению грунтов и земляных сооружений / Н. Н. Иванов // Механизированное уплотнение грунтов в строительстве. – М. : Госстройиздат, 1962. – С. 31–33.

А. В. Лисянец, Н. П. Дырда

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

Исследование закономерностей процесса развития деформаций в дорожной одежде нежесткого типа под воздействием динамической нагрузки

Проблеме накопления деформаций в дорожной одежде было посвящено множество исследований. Однако вопрос установления закономерностей процесса развития деформаций в дорожных конструкциях остается открытым.

Статья посвящена экспериментальному исследованию влияние модуля упругости грунтового основания дорожной конструкции и величины приложенной нагрузки на процесс развития деформаций в эквивалентных слоях дорожной одежды.

Разработана экспериментальная установка для измерения величины накопления деформации на поверхности эквивалентного слоя асфальтобетона и на его границе с упругим основанием под воздействием динамической нагрузки. Приведены внешний вид и схема установки с указанием конструктивных элементов, описан принцип ее работы.

Для проведения экспериментальных исследований использован метод планирования эксперимента. Для обработки полученных данных использованы методы математической статистики: дисперсионного и регрессионного анализов с оценкой результатов по критериям Стьюдента (значимость), Кохрена (дисперсионность), Фишера (адекватность). В результате составлены уравнения регрессии, позволяющие регулировать величину накопленной деформации на поверхности эквивалентного слоя асфальтобетона и на его границе с упругим основанием путем варьирования величины нагрузки и модуля упругости грунтового основания и таким образом оптимизировать выбор данного прочностного параметра дорожной конструкции. Представлены графические изображения и анализ результатов измерений. Определены перспективные направления дальнейших исследований.

ДОРОЖНАЯ ОДЕЖДА, ВЕЛИЧИНА НАКОПЛЕННОЙ ДЕФОРМАЦИИ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА, УРАВНЕНИЕ РЕГРЕССИИ

A. V. Lisianets, N. P. Dyrda

Automobile and Highway Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka

Study of Deformation Process Regularities in the Nonrigid Road Pavement under the Influence of Dynamic Load

Many studies were devoted to the problem of deformation accumulation in the road pavement. However, the question of determination of the deformation process regularities in road structures remains open.

The article is devoted to the experimental study of the impact of the road structure earth foundation elastic modulus and the magnitude of the applied load on the deformation development in equivalent layers of the road pavement.

The experimental facility to measure the magnitude of the deformation accumulation on the surface of the asphaltic concrete equivalent layer and on its border with the elastic foundation under the influence of dynamic load is developed. The appearance and scheme of the facility with indication of structural elements is given, principle of its operation is described.

To carry out experimental studies the method of experimental design is used. To process obtained data the methods of mathematical statistics are used: dispersion and regression analysis with an evaluation of results by criteria of Student (significance), Cochran (dispersion), Fisher (adequacy). As a result regression equations allowing to regulate the magnitude of accumulated deformation on the surface of the asphaltic concrete equivalent layer and on its border with the elastic foundation by the way of the load magnitude and earth foundation elastic modulus variation are made up and thus optimizing the choice of this strength property of the road structure. Graphic images and the analysis of measurement results are presented.

ROAD PAVEMENT, MAGNITUDE OF ACCUMULATED DEFORMATION, EXPERIMENTAL FACILITY, REGRESSION EQUATION

Сведения об авторах:

А. В. Лисянец

SPIN-код: 5360-8121

Телефон: +380 (95) 38-38-172

Эл. почта: annuta-3991@mail.ru

Н. П. Дырда

Статья поступила 20.04.2017

© А. В. Лисянец, Н. П. Дырда, 2017

Рецензент: Т. В. Скрытник, канд. техн. наук, доц. АДИ ГОУВПО «ДонНТУ»