

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2018, №4, Том 5 / 2018, No 4, Vol 5 <https://t-s.today/issue-4-2018.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/14SATS418.pdf>

DOI: 10.15862/14SATS418 (<http://dx.doi.org/10.15862/14SATS418>)

Статья поступила в редакцию 24.09.2018; опубликована 15.11.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Тиратурян А.Н., Акулов В.В., Бодров И.В., Симакова А.А., Фарниева М.В. Исследование растягивающих деформаций на нижней границе пакета асфальтобетонных слоев на основе испытаний установкой ударного нагружения // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2018 №4, <https://t-s.today/PDF/14SATS418.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/14SATS418

For citation:

Tiraturyan A.N., Akulov V.V., Bodrov I.V., Simakova A.A., Farnieva M.V. (2018). The study of tensile deformations at the lower boundary of the package of asphalt concrete layers based on tests of the installation of shock loading. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(5). Available at: <https://t-s.today/PDF/14SATS418.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/14SATS418

УДК 6

ГРНТИ 67.01.77, 67.01.81

Тиратурян Артем Николаевич

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Доцент кафедры «Автомобильные дороги»
Кандидат технических наук
E-mail: tiraturjan@list.ru

Акулов Владимир Владимирович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Научно-исследовательский институт проблем дорожно-транспортного комплекса
Инженер
E-mail: marine_25@inbox.ru

Бодров Илья Владимирович

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Студент
E-mail: bodrov_ilya120196@mail.ru

Симакова Анастасия Анатольевна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Студент
E-mail: simakova000@gmail.com

Фарниева Марина Вячеславовна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, Россия
Студент
E-mail: Marina95farnieva@mail.ru

**Исследование растягивающих деформаций
на нижней границе пакета асфальтобетонных слоев на
основе испытаний установкой ударного нагружения**

Аннотация. В настоящее время в дорожной отрасли Российской Федерации наметилась модернизация системы эксплуатации автодорожного комплекса. В связи с этим наблюдается тенденция внедрения новых технологий по контролю за состоянием дорожных одежд. Одной из таких является высокопроизводительная ударная установка динамического нагружения FWD, которая позволяет измерять чаши прогиба дорожной одежды. В данной работе предоставлены примеры и модели, позволяющие оценить достоверность результатов с установки FWD, а также зависимость экспериментальных и программных данных чаши прогиба дорожной конструкции. Актуальность исследования обусловлена тем, что в настоящее время осуществляется значительная переработка методов расчета нежестких дорожных одежд и создание нового метода прогнозирования усталостных разрушений. Тем не менее применение данной эмпирической зависимости требует оценки ее адекватности и возможности применения для конструкций и материалов слоев, используемых в практике РФ. Решить эту задачу возможно путем сопоставления фактических значений растягивающих деформаций с расчетными значениями, определяемыми на основе механико-математической модели напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции. В качестве экспериментальных конструкций, на которых производилась отработка методик расчета растягивающих деформаций, были выбраны участки федеральных автомагистралей М-4 «Дон» и М-3 «Украина». Измерения на данных участках осуществлялись установкой ударного нагружения FWD через каждые 100 м. При этом при каждом ударном воздействии осуществлялась регистрация чаш прогиба покрытия. На основе полученных чаш прогибов были рассчитаны растягивающие деформации на нижней границе пакета асфальтобетонных слоев. Далее была произведена статистическая обработка результатов замеров чаши прогибов. Для оценки адекватности полученных результатов была применена американская математическая модель MnLayer. В процессе расчета были определены основные параметры напряженно-деформированного состояния, в том числе растягивающие деформации. Анализируя данные, полученные по результатам расчета растягивающих напряжений в математических моделях заданных дорожных конструкций, был построен сопоставительный график, иллюстрирующий зависимость фактических показателей чаши прогиба с показателями, полученными в программе MnLayer.

Ключевые слова: дорожная одежда; чаша прогиба; анализ; растягивающие деформации; напряженно-деформированное состояние; FWD; MnLayer; деформация

В настоящее время в дорожной отрасли РФ наметилась модернизация системы эксплуатации автодорожного комплекса. В связи с этим наблюдается тенденция внедрения новых технологий по контролю за состоянием дорожных одежд [1]. Одной из таких технологий является применение высокопроизводительной установки ударного нагружения FWD, позволяющей осуществлять регистрацию чаш прогибов нежестких дорожных одежд. Ключевой особенностью данной установки является возможность регистрации чаши прогиба дорожной одежды на расстоянии до 2,5 м от точки приложения нагрузки с помощью датчиков геофонов, установленных на рейке. Механизм ударного нагружения, смонтированный на данной установке, позволяет имитировать нагрузку на покрытие нежесткой дорожной одежды в пределах от 2 до 150 кН, время контактного взаимодействия на покрытие дорожной одежды составляет 30 мс (рисунок 1).



Рисунок 1. Установка динамического нагружения FWD (источник: <http://avtodor-eng.ru/cntnt/novosti-1/n341.html>)

В странах Европы и Северной Америки установка FWD является незаменимым устройством в современных дорожных лабораториях. Как показывает зарубежный опыт, применение данной установки позволяет получать достоверные сведения о состоянии дорожной конструкции непосредственно по значениям чаши прогиба [2]. В результате могут быть определены критические значения деформаций в каждой точке дорожной конструкции. Одними из таких показателей являются значения растягивающих деформаций на нижней границе пакета асфальтобетонных слоев, которые определяются по эмпирической формуле [3]:

$$\log \varepsilon_r = -1.06755 + 0.56178 \log h_1 + 0.003233 \log d_{1800} + 0.47462 \log SCI_{300} + 1.15612 \log BDI - 0.68266 \log BCI \quad (1)$$

где: $SCI_{300} = d_0 - d_{300}$, μm ;

$BDI = d_{300} - d_{600}$, μm ;

$BCI = d_{600} - d_{900}$, μm ;

d_i – вертикальное перемещение на расстоянии l от точки приложения нагрузки.

Для РФ данная зависимость является актуальной, так как в настоящее время осуществляется значительная переработка методов расчета нежестких дорожных одежд и создание нового метода прогнозирования усталостных разрушений. Тем не менее применение данной эмпирической зависимости требует оценки ее адекватности и возможности применения для конструкций и материалов слоев, используемых в практике РФ [4]. Решить эту задачу возможно путем сопоставления фактических значений растягивающих деформаций с расчетными значениями, определяемыми на основе механико-математической модели напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции.

Одним из примеров такой модели является программный комплекс MnLayer, разработанный и активно применяющийся в штате Миннесота, при проведении оценке секций дорожных одежд на полигоне MnDOT [5]. В качестве экспериментальных конструкций, на которых производилась отработка методик расчета растягивающих деформаций были выбраны участки федеральных автомагистралей М-4 «Дон» и М-3 «Украина» (таблица 1).

Таблица 1

Экспериментальные участки и конструкции дорожных одежд

№ п/п	Конструкция дорожной одежды	Толщина слоя, см	Модуль упругости, Мпа
М-4 «Дон» км 296+500-321+000			
1	Плотная горячая мелкозернистая а/б смесь, Тип А, I марка	5	4500
2	Горячая крупнозернистая пористая а/б смесь, I марка	7	2800
3	Горячая крупнозернистая пористая а/б смесь, II марка	8	2800
4	ЩПС, укрепленное цементом М60 F25	20	800
5	Технологический слой, уложенный по способу заклинки	15	600
6	Песок мелкий	50	200
7	Грунтовое основание	-	120
М-4 «Дон» км 377+000-414+000			
1	Плотная горячая мелкозернистая а/б смесь, Тип А, I марка	5	4500
2	Горячая крупнозернистая пористая а/б смесь, I марка	7	2800
3	Горячая крупнозернистая пористая а/б смесь, II марка	8	2800
4	ЩПС, укрепленное цементом М60 F25	20	800
5	Технологический слой, уложенный по способу заклинки	15	600
6	Песок мелкий	50	200
7	Грунтовое основание	-	120
М-4 «Дон» км 414+000-440+00			
1.	ЩМА-15 на ПБВ 60	4	5300
2.	Плотный а/б из горячей крупнозернистой смеси, Тип А, I марка	8	4500
3.	Пористый, горячий крупнозернистый а/б I марки на БНД 60/90	10	2800
4.	Фракционированный щебень М1400, по способу заклинки	36	900
5.	Технологический слой втапливания щебня М400	10	300
6.	Песчаный подстилающий слой	50	200
7.	Подстилающий грунт	-	120
М-4 «Дон» км 877+000-877+326			
1	ЩМА-20 на БНДУ 60	5	5300
2	Плотный а/б из горячей крупнозернистой щебеночной смеси I марки, Тип А, дисперсно-армированный	7	4500
3	Пористый а/б из горячей крупнозернистой щебеночной смеси I марки, дисперсно-армированный	7	2800
4	Органоминеральная смесь, обработанная жидким органическим вяжущем с минеральным вяжущем	20	950
5	Щебеночная смесь с непрерывной гранулометрией (С4)	26	275
6	Мелкий песок	20	200
7	Грунт зем. полотна глина		50
М-4 «Дон» км 877+326-877+476 (Эталонный участок, запроектированный по нормам и правилам ФРГ)			
1	ЩМА на БНДУ60, модифицированный полимерными добавками на щебне (SMA-11S)	4	5300
2	Горячий высокоплотный дисперсно-армированный а/б на БНД 60/90 (АС-22BS)	8	6000
3	Горячий плотный дисперсно-армированный а/б на БНД 60/90 (АС-32TS)	22	4500
4	Щебеночная смесь непрерывной гранулометрией С5	56	260
5	Песок	20	200
6	Подстилающий грунт	-	120
М-4 «Дон» км 892+000-907+000			
1	ЩМА-20 на БНДУ 60, модифицированный полимерной добавкой	5	5300
2	А/б из плотной горячей крупнозернистой смеси I марки, Тип А, дисперсно-армированный	7	4500
3	А/б из пористой горячей крупнозернистой смеси I марки, дисперсно-армированный	7	2800
4	Органоминеральная смесь, обработанная жидким органическим вяжущем с минеральным вяжущем	20	950

№ п/п	Конструкция дорожной одежды	Толщина слоя, см	Модуль упругости, Мпа
5	Щебеночная смесь с непрерывной гранулометрией (С4)	26	275
6	Мелкий песок	20	200
7	Грунт зем. полотна глина		50
М-4 «Дон» км 907+000-913+000			
1	ЩМА-15 на вяжущем БИТРЭК 60/90	5	5300
2	Пористый горячий крупнозернистый а/б I марки на БНД 60/90	7	2800
3	Пористый горячий крупнозернистый а/б I марки на БНД 60/90	8	2800
4	ЩПС, обработанное цементом М60 F25	20	800
5	Щебень М-800, уложенный по способу заклинки	15	450
6	Щебень М-800	27	275
7	Подстилающий грунт	-	120
М-4 «Дон» км 1038+000-1063+000			
1	ЩМА-15 на ПБВ приготовленное без индустриального масла	4	5300
2	А/б плотный из горячей крупнозернистой смеси, Тип А, I марка, на БНД 60/90, полимерно-дисперсно-армированный	6	4500
3	А/б пористый крупнозернистой смеси, Тип А, I марка, на БНД 60/90, полимерно-дисперсно-армированный	6	2800
4	Смесь из а/б гранулята с добавлением 30 % щебня, обработанного комплексным вяжущим	30	3200
5	ГПС С4	25	230
6	Подстилающий грунт	-	120
М-4 «Дон» км 1442+000-1458+000			
1	ЩМА-15 на БНДУ-60, модифицирован полимерными добавками	5	5300
2	А/б плотный из горячей крупнозернистой смеси, Тип А, I марка, на БНД 60/90, полимерно-дисперсно-армированный	6	4500
3	А/б плотный из горячей крупнозернистой смеси, Тип А, I марка, на БНД 60/90, полимерно-дисперсно-армированный	7	4500
4	Фракционированный щебень 40-70 мм, М1000	20	300
5	ЩПС С4	20	275
6	ГПС С4	25	275
7	ГПС С4	20	275
М-3 «Украина» км 194+000-264+000			
1	ЩМА-15 на ПБВ	4	5300
2	Горячий плотный мелкозернисты а/б, Тип А, I марка, полимерно-дисперсно-армированный	8	4500
3	Горячий пористый крупнозернистый а/б, I марки, полимерно-дисперсно-армированный	9	3050
4	Смесь щебеночно-песчаная из металлургический шлаков	17	275
5	Деструктурированный ц/б существующего основания	21	1000
6	Подстилающий грунт	-	120

Разработано автором

Измерения на данных участках осуществлялись установкой ударного нагружения FWD через каждые 100 м. При этом при каждом ударном воздействии осуществлялась регистрация чаш прогиба покрытия. На основе полученных чаш прогибов были рассчитаны растягивающие деформации на нижней границе пакета асфальтобетонных слоев [6]. Далее была произведена статистическая обработка результатов замеров чаши прогибов, которые представлены на рисунке 2.

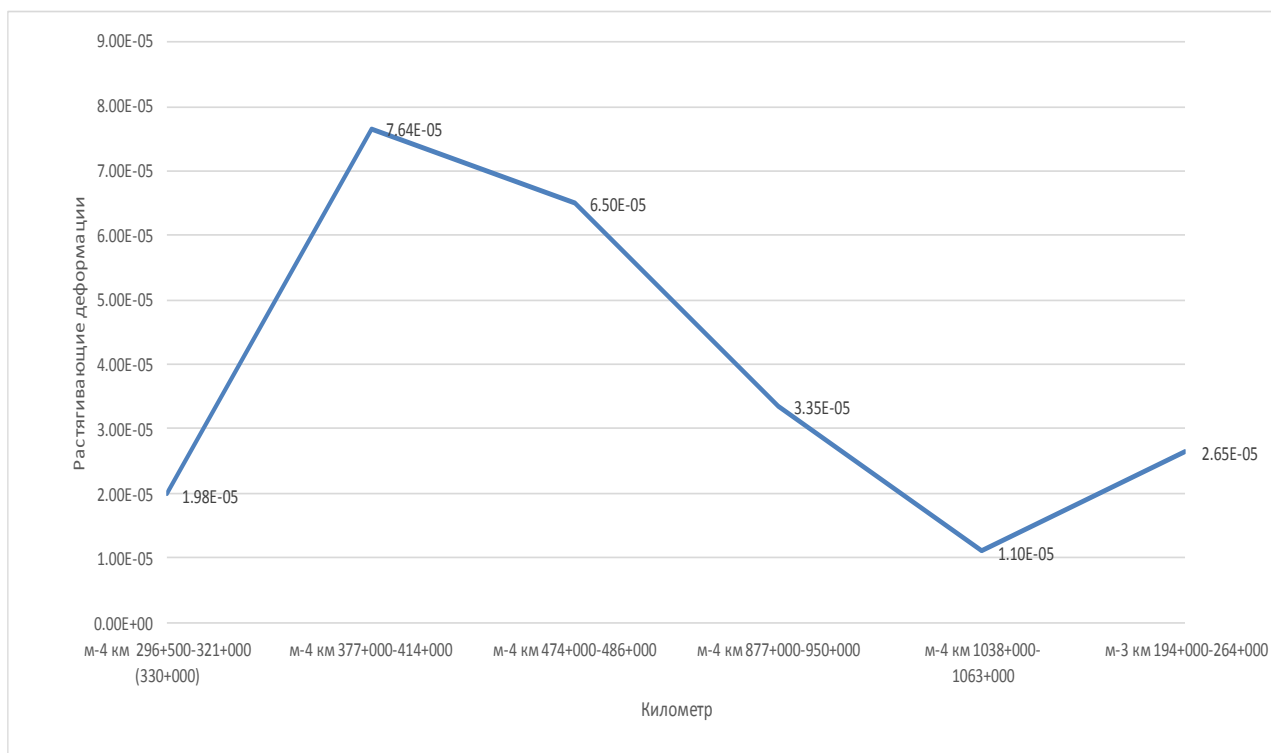


Рисунок 2. *Результатов расчета фактических растягивающих деформаций, на основе чаши прогибов, зарегистрированных в натуральных условиях (разработано автором)*

Для оценки адекватности полученных результатов была применена американская математическая модель MnLayer, используемая в департаменте транспорта штата Миннесота, США [7]. В данном программном комплексе были просчитаны рассмотренные выше дорожные конструкции. В процессе расчета были определены основные параметры напряженно-деформированного состояния, в том числе растягивающие деформации [8].

Анализируя данные, полученные по результатам расчета растягивающих напряжений в математических моделях заданных дорожных конструкций, был построен сопоставительный график, иллюстрирующий зависимость фактических показателей чаши прогиба с показателями, полученными в программе MnLayer (рисунок 3).

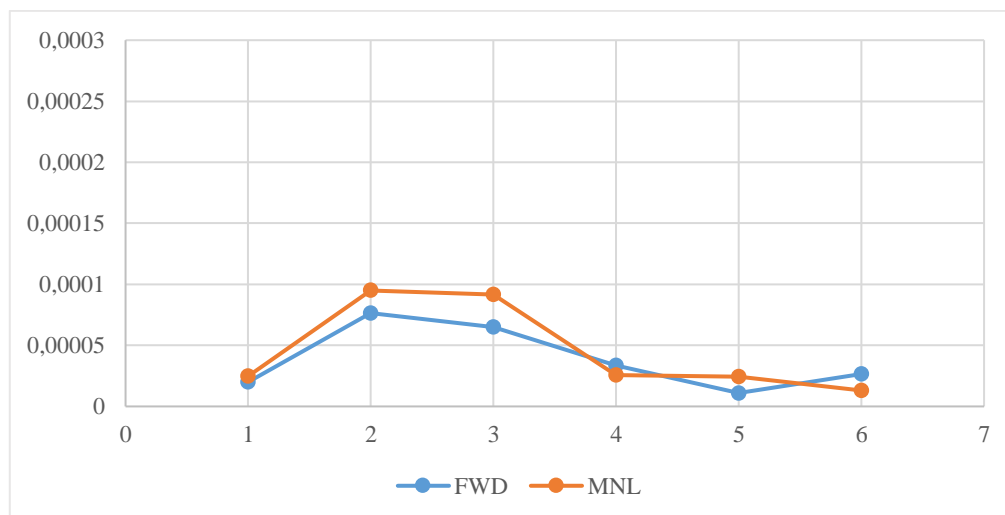


Рисунок 3. *Сопоставление фактических растягивающих деформаций, определенных в натуральных условиях с использованием установки FWD и рассчитанных в программном комплексе MnLayer (разработано автором)*

Таким образом, была установлена статическая зависимость между экспериментальными и программными данными (рисунок 4). Корреляция составила 66 %.

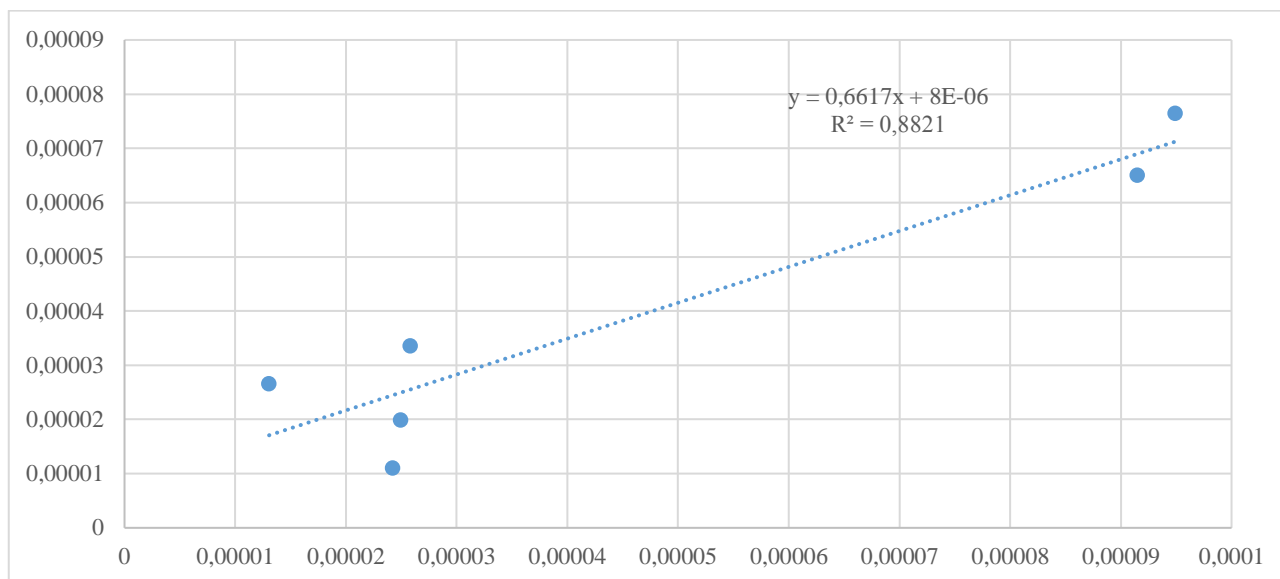


Рисунок 4. Корреляционная зависимость между осредненными фактическими растягивающими деформациями, определенными в натуральных условиях с использованием установки FWD, и рассчитанными в программном комплексе MnLayer (разработано автором)

Как видно из представленного графика фактические значения растягивающих деформаций хорошо коррелируют с расчетными значениями, установленными в программном комплексе MnLayer, что свидетельствует о корректности и возможности применения зависимости (1) при проведении натуральных исследований.

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод: данные замеров чаши прогиба дорожной одежды, полученные с установки динамического нагружения FWD с использованием математической модели MnLayer, могут быть использованы в качестве экспериментального базиса для прогнозирования накопления усталостных напряжений на нижней границе пакета асфальтобетонных слоев [9, 10]. Таким образом с большой долей вероятности возможно определить превышение максимально допустимых напряжений в дорожной конструкции и, как следствие, предотвратить ее разрушение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Snaith, M.S., Robinson, R., Danielson, U. Road Maintenance Management: Concepts and Systems. M.: 1998. 312 p.
2. Углова Е.В., Саенко С.С. Обзор инструментов управления состоянием дорожных конструкций // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 3, №1 (2016) URL: t-s.today/PDF/02TS116.pdf (доступ свободный).
3. Fernihough, William J., 1995 "BC Hydro's Experience with Substation RCM", Proceedings of Substation Reliability Centered Maintenance Conference, Newport Beach, CA, 5 p.
4. Углова Е.В., Тиратурян А.Н. Оценка прочности нежестких дорожных одежд. Опыт применения установки динамического нагружения FWD PRIMAX на участках автомобильной дороги м-4 «дон». Дорожная держава. 2014. № 57. С. 55.
5. Мизонов В.В., Тиратурян А.Н. Использование метода «обратного» расчёта при эксплуатации автомобильных дорог. Наука и техника в дорожной отрасли. 2011. № 1. С. 25-27.
6. Углова Е.В., Тиратурян А.Н., Ляпин А.А. / Комплексный подход к исследованию характеристик динамического деформирования на поверхности нежестких дорожных одежд с использованием методов неразрушающего контроля // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2016. № 2. С. 111-130.
7. Horak E. Evaluation of Airport Pavements with FWD Deflection Bowl Parameter Benchmarking Methodology // 2nd European Airport Pavement Workshop. 2007.
8. Тиратурян А.Н. Механико-статистический метод оценки остаточного ресурса нежестких дорожных одежд // Транспортные сооружения, 2018 №4, <https://t-s.today/PDF/01SATS418.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/01SATS418.
9. Веренько В.А. Надежность дорожных одежд. – 2002.
10. Веренько В.А. Дорожные композитные материалы. Структура и механические свойства / Под ред. И.И. Леоновича. – Минск: Наука и техника, 1993. – 246 с.

Tiraturyan Artem Nikolaevich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: tiraturjan@list.ru

Akulov Vladimir Vladimirovich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
Research institute of road-transport complex problems
E-mail: marine_25@inbox.ru

Bodrov Ilya Vladimirovich

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: bodrov_ilya120196@mail.ru

Simakova Anastasia Anatolievna

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: simakova000@gmail.com

Farnieva Marina Vyacheslavovna

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: Marina95farnieva@mail.ru

The study of tensile deformations at the lower boundary of the package of asphalt concrete layers based on tests of the installation of shock loading

Abstract. Currently, in the road sector of the Russian Federation, there has been a modernization of the system of operation of the road complex. In this regard, there is a tendency to introduce new technologies for monitoring the condition of road pavements. One of these is the high-performance FWD dynamic loading drum set, which allows you to measure pavement trough bowls. In this paper, examples and models are given to evaluate the reliability of the results from the FWD installation, as well as the dependence of the experimental and software data on the deflection bowl of the road structure. The relevance of the study is due to the fact that a significant reworking of methods for calculating non-rigid pavements and the creation of a new method for predicting fatigue damage is being carried out. Nevertheless, the application of this empirical dependence requires an assessment of its adequacy and the possibility of using layers for structures and materials used in the practice of the Russian Federation. It is possible to solve this problem by comparing the actual values of tensile deformations with the calculated values determined on the basis of the mechanical-mathematical model of the stress-strain state of the road structure. The sections of the M-4 “Don” and M-3 “Ukraine” federal highways were chosen as experimental constructions that were used to work out methods for calculating tensile deformations. Measurements at these sites were carried out by installing shock loading FWD every 100 m. At the same time, at each impact impact, the plates of the coating deflection were recorded. Based on the resulting bowls of the deflections, tensile deformations were calculated at the lower boundary of the package of asphalt concrete layers. Next, a statistical processing of the measurements of the deflection bowl was made. To assess the adequacy of the results obtained, the American mathematical model MnLayer was applied. During the calculation, the main parameters of the stress-strain state, including tensile deformations, were determined. Analyzing the data obtained from the calculation of tensile stresses in mathematical models of given road structures, a comparative graph was constructed illustrating the dependence of the actual deflection cup indicators with those obtained in the MnLayer program.

Keywords: road clothes; deflection bowl; analysis; tensile deformation; stress-strain state; FWD; MnLayer; deformation

REFERENCES

1. Snaith M.S., Robinson R., Danielson U. (1998). *Road Maintenance Management: Concepts and Systems*. Moscow, p. 312.
2. Uglova E.V., Saenko S.S. (2018). Overview of road condition management tools. *Russian journal of transport engineering*, [online] 1(3). Available at: <https://t-s.today/PDF/02TS116.pdf> (in Russian).
3. Fernihough, William J. (1995). *BC Hydro's Experience with Substation RCM*". Newport Beach, California, p. 5.
4. Uglova E.V., Tiraturyan A.N. (2014). Evaluation of the strength of non-rigid pavement. Experience with the use of the FWD PRIMAX dynamic loading unit on m-4 "don" road sections. *Road Power*, 57, p. 55 (in Russian).
5. Mizonov V.V., Tiraturyan A.N. (2011). Using the method of "reverse" calculation during the operation of roads. *Science and technology in the road sector*, 1, pp. 25-27 (in Russian).
6. Uglova E.V., Tiraturyan A.N., Lyapin A.A. (2016). An integrated approach to the study of the characteristics of dynamic deformation on the surface of non-rigid pavements using non-destructive testing methods. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Mechanics*, 2, pp. 111-130 (in Russian).
7. Horak E. (2007). Evaluation of Airport Pavements with FWD Deflection Bowl Parameter Benchmarking Methodology. *2nd European Airport Pavement Workshop*.
8. Tiraturyan A.N. (2018). Mechanical-statistical method of estimation of the residual life of flexible pavements. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(5). Available at: <https://t-s.today/PDF/01SATS418.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/01SATS418.
9. Veren'ko V.A. (2002). Nadezhnost' dorozhnykh odezhd. [*Reliability of pavement.*]
10. Veren'ko V.A. (1993). Dorozhnye kompozitnye materialy. Struktura i mekhanicheskie svoystva. [*Road composite materials. Structure and mechanical properties.*] Minsk: Science and Technology, p. 246.