

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/13SATS418.pdf>

DOI: 10.15862/13SATS418 (<http://dx.doi.org/10.15862/13SATS418>)

Статья поступила в редакцию 24.09.2018; опубликована 15.11.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Тиратурян А.Н., Бодров И.В., Симакова А.А., Фарниева М.В. Экспериментальные исследования рассеивания энергии в структуре дорожной конструкции при ударном нагружении // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2018 №4, <https://t-s.today/PDF/13SATS418.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/13SATS418

For citation:

Tiraturyan A.N., Bodrov I.V., Simakova A.A., Farnieva M.V. (2018). Experimental studies of energy dissipation in the structure of the road structure under shock loading. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(5). Available at: <https://t-s.today/PDF/13SATS418.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/13SATS418

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

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

**Экспериментальные исследования
рассеивания энергии в структуре дорожной
конструкции при ударном нагружении**

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы экспериментального исследования процессов рассеивания энергии в структуре дорожной конструкции при ударном нагружении. Исследование данных процессов характеризуется научной и практической значимостью, так как именно рассеивание энергии определяется состоянием и механизмами деформирования всех без исключения конструктивных слоев нежестких дорожных одежд. В рамках проведения данных исследований осуществлялась комплексная оценка состояния трех участков, находящихся в разном технико-эксплуатационном состоянии, что подтверждается средним

баллом по визуальной оценке и соответственно количеством и разновидностями дефектов. На всех обследованных участках были проведены измерения с использованием установки ударного нагружения FWD, с регистрацией динамических петель гистерезиса в каждой точке в координатах «нагрузка – прогиб». По площади динамических петель гистерезиса осуществлялся расчет плотности рассеиваемой энергии при ударном воздействии. В ходе выполненных работ установлено, что при ухудшении транспортно-эксплуатационного состояния участка величина плотности рассеиваемой энергии значительно увеличивается, так для участков со средним баллом по визуальной оценке $B_{cp} = 4,0$ плотность рассеиваемой энергии составляет $S_{cp1} = 13,215$ Дж/м³, на участке со средним баллом по визуальной оценке $B_{cp} = 4.61$ плотность рассеиваемой энергии составляет $S_{cp2} = 7,52$ Дж/м³, на участке со средним баллом по визуальной оценке $B_{cp} = 4,78$ плотность рассеиваемой энергии составит $S_{cp3} = 5,00$ Дж/м³. С практической точки зрения данные результаты являются экспериментальным базисом для создания нового подхода к техническому мониторингу состояния нежестких дорожных одежд, именно с позиций анализа суммарной энергии, рассеиваемой в ее структуре в течении всего жизненного цикла.

Ключевые слова: дорожная одежда; технический мониторинг; установка ударного нагружения; динамическая петля гистерезиса; площадь петли гистерезиса; плотность рассеиваемой энергии; чаша прогиба; визуальная оценка

Эксплуатационные и капитальные затраты на обеспечение сохранности современных автомобильных дорог напрямую связаны с состоянием дорожных одежд, воспринимающих воздействие транспортных нагрузок и природно-климатических факторов. Объединяя в своей структуре слои, характеризующиеся упругими, вязкоупругими, и вязкоупругопластическими свойствами современные дорожные одежды, требуют учета и анализа сложных механизмов деформирования, возникающих в них, под воздействием вышеуказанных факторов, как на стадии проектирования [1, 2], так и на стадии эксплуатации¹. С 2009 года на дорогах Российской Федерации активное применение нашли высокопроизводительные установки ударного нагружения FWD, позволяющие решать целый комплекс сложных задач оценки состояния дорожных одежд и их отдельных элементов на эксплуатируемых автомобильных дорогах [3, 4].

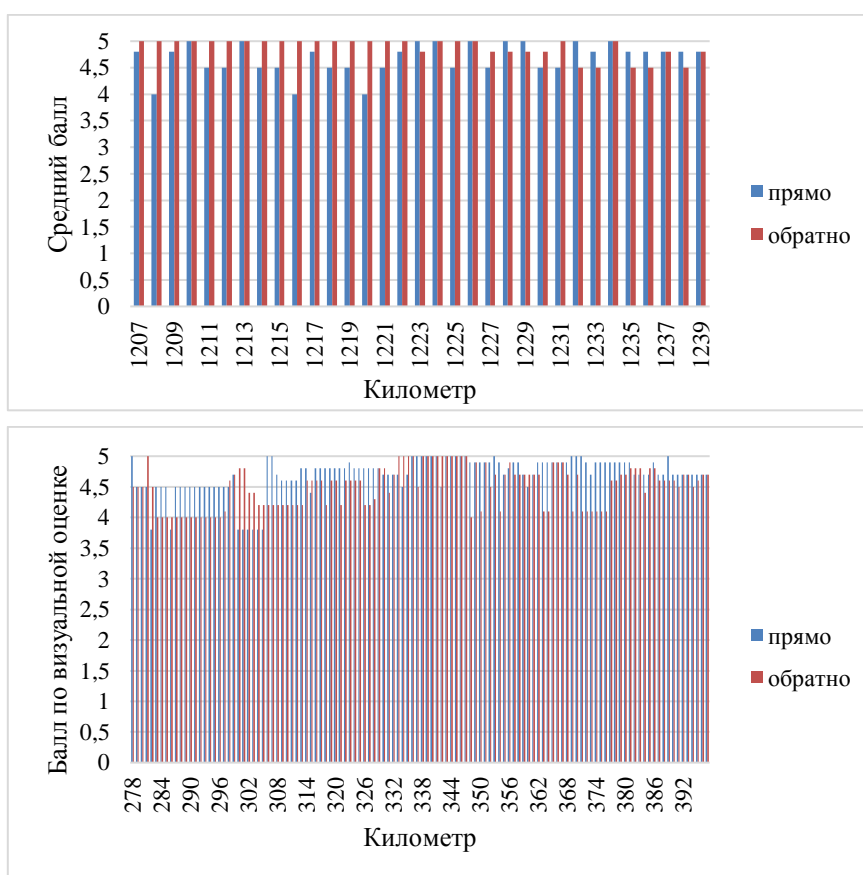
Принцип работы установок FWD базируется на натурной регистрации чаш упругих прогибов на поверхности нежесткой дорожной одежды при импульсном динамическом нагружении продолжительностью 30 мс, и контактным усилием, соответствующим нагрузке от расчетного автомобиля. Современные средства механико-математического моделирования позволяют осуществлять построение расчетной чаши прогибов для многослойной конструкции, и ее последующую корректировку относительно экспериментальной чаши прогибов, зарегистрированной установкой ударного нагружения FWD. Подобные подходы нашли свое отражение в отечественной и зарубежной нормативной документации, и принимаются на вооружение ведущими производителями дорожной техники и программных средств Российской Федерации.

Вместе с тем использование этих установок позволяет анализировать и ряд других параметров, интересных с точки зрения анализа работы дорожной конструкции. Одним из таких показателей является динамическая петля гистерезиса, регистрируемая в точке приложения ударной нагрузки. Петли гистерезиса проявляется практически всегда для всех

¹ FHWA. LTPP Techbrief.
<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/97093/97093.pdf>, 1997.

материалов, характеризующихся вязкоупругими свойствами. Особое значение в этом случае приобретает площадь петли гистерезиса, так как она равна плотности энергии, рассеянной в некоторой среде за цикл деформации [5, 6]. Плотность рассеиваемой энергии в свою очередь обязательно связана с проявлением разрушений и деформаций, накапливающихся в деформируемом твердом теле (в данном случае структуре дорожной одежды) при его деформировании, в связи с полным и частичным разрывом упругих связей и перераспределением и соответствующим увеличением деформаций в вязких связях [7, 8].

Инструментальное оборудование, которым оснащена установка FWD позволяет осуществлять регистрацию петли гистерезиса при ударном нагружении в координатах нагрузка – прогиб (кН – мкм). Опыт проведения работ на участках автомобильных дорог как федеральной, так и региональной сети позволил выдвинуть гипотезу о зависимости фактической площади петли гистерезиса, зарегистрированной при ударном нагружении, а соответственно и плотности рассеиваемой энергии от состояния дорожной одежды. Для проверки данного предположения был реализован натурный эксперимент по обследованию состояния автомобильных дорог, находящихся в отличном, удовлетворительном и неудовлетворительном состоянии. Результаты визуальной оценки обследованных участков представлены на рисунке 1. Так на участке автомобильной дороги М4 ДОН км 1205-1240 средний балл по визуальной оценке состояния покрытия составляет находится в диапазоне 4-5 баллов, при этом на основной протяженности участка дефекты либо отсутствуют полностью, либо проявляются в виде отдельных поперечных трещин с шагом не менее 18 м. Удовлетворительное состояние отмечено на участке автомобильной дороги М1 км 278+000-298+000 (на участке зафиксированы поперечные трещины с шагом менее 10 м, выбоины, продольные трещины). В качестве примера участка, находящегося в неудовлетворительном состоянии, рассматривается участок автомобильной дороги М1 км 196+000-253+000, на котором зафиксированы такие дефекты как сетка трещин, чаты поперечные трещины колеиность свыше 20 мм.



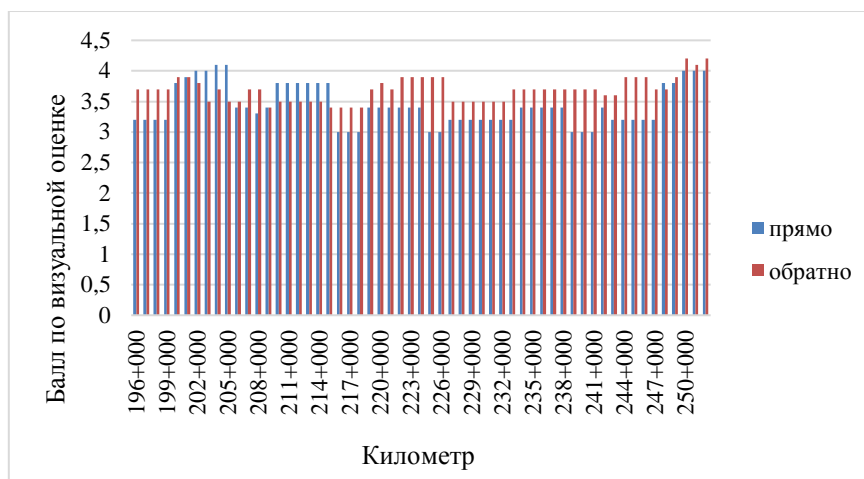


Рисунок 1. Средний балл по визуальной оценке, зарегистрированный на участке:
А – автомобильная дорога М4 «Дон» км 1207+000-1240, Б – автомобильная дорога М1 «Беларусь» км 278+000-298+000, В – автомобильной дороги М1 «Беларусь» км 196+000-253+000 (составлено автором)

На каждом из обследованных участков в ходе натурных испытаний были зарегистрированы петли динамического гистерезиса, формируемые при ударном воздействии. При этом испытания на всех обследованных участках осуществлялись ранней осенью (сентябрь) при фактической температуре слоев асфальтобетона 10-12°C, и влажности грунта земляного полотна 0.65-0.67 Вт, определенной в ходе лабораторных испытаний. Результаты натурных испытаний в виде динамических петель гистерезиса представлены на рисунках 2-4.

Как видно из представленных графиков, линии нагрузки и разгрузки регистрируемые в точке приложения ударной нагрузки, формируют четко выделенные динамические петли гистерезиса, свидетельствующие о вязкоупругом функционировании испытываемых дорожных одежд, при приложении ударной нагрузки.

Комплексный анализ результатов регистрации динамических петель гистерезиса и результатов визуальной оценки состояния покрытия наглядно демонстрирует наличие связи между значениями плотности рассеиваемой энергии, и фактическим состоянием обследуемого участка. Так установлено, что участок автомобильной дороги М1 «Беларусь» км 196+000-253+000 при осредненной площади, зарегистрированных на нем петель гистерезиса, составляющей $S_{cp1} = 13,215 \text{ Дж/м}^3$, находится при этом в неудовлетворительном состоянии, (средний балл по визуальной оценке $B_{cp} = 3,56$). На участке автомобильной дороги км 278+000-298+000 фактически установленная осредненная площадь петель динамического гистерезиса, составляет $S_{cp2} = 7,52 \text{ Дж/м}^3$, участок находится в удовлетворительном состоянии (средний балл по визуальной оценке $B_{cp} = 4,61$ балла). Аналогично на участке автомобильной дороги М-4 «ДОН» при осредненной площади динамических петель гистерезиса $S_{cp3} = 5,00 \text{ Дж/м}^3$, отмечено отличное визуальное состояние, что подтверждается средним баллом по визуальной оценке $B_{cp} = 4,78$.

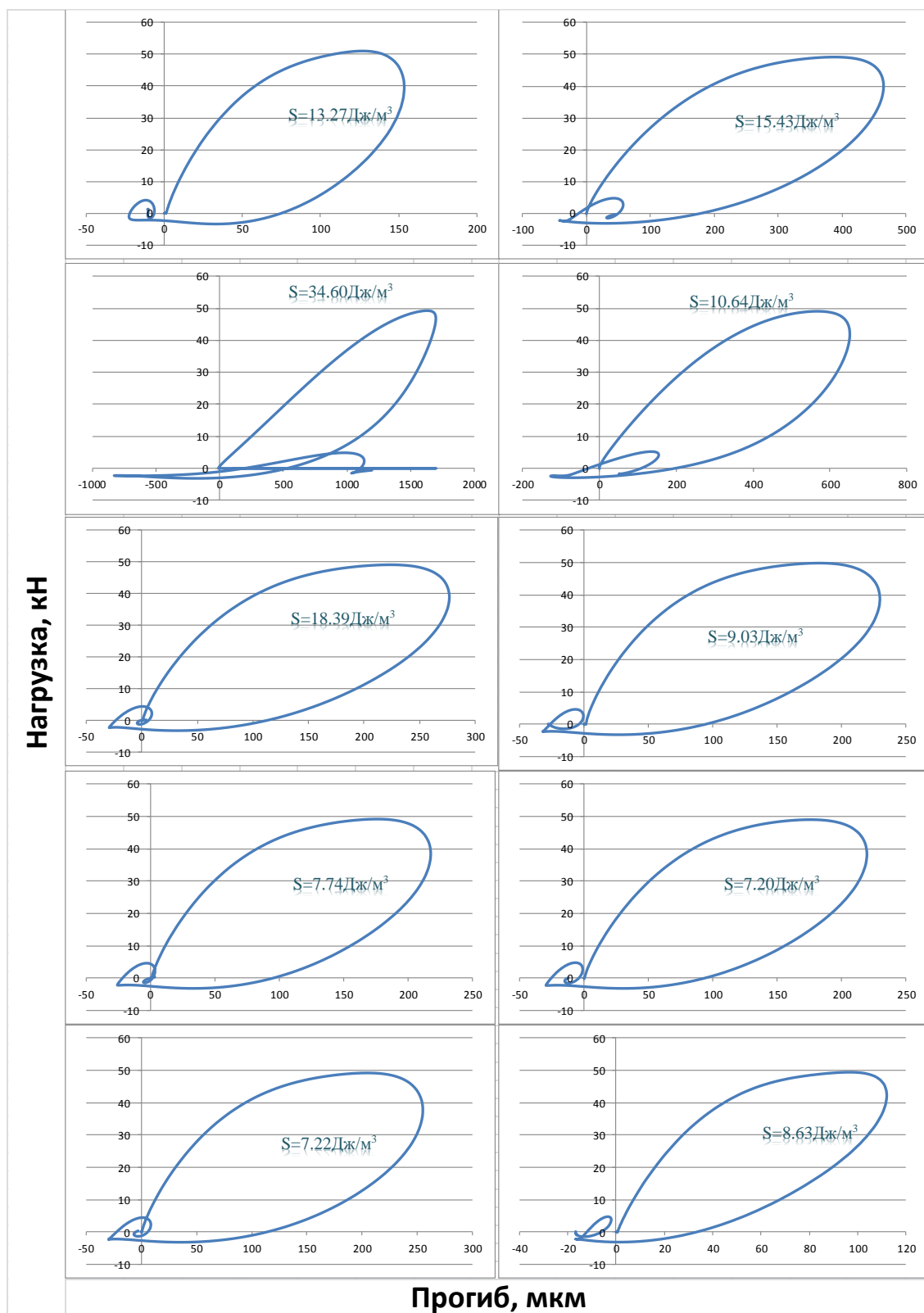


Рисунок 2. форма петли динамического гистерезиса на участке автомобильной дороги М1 196+000-253+000 (составлено автором)

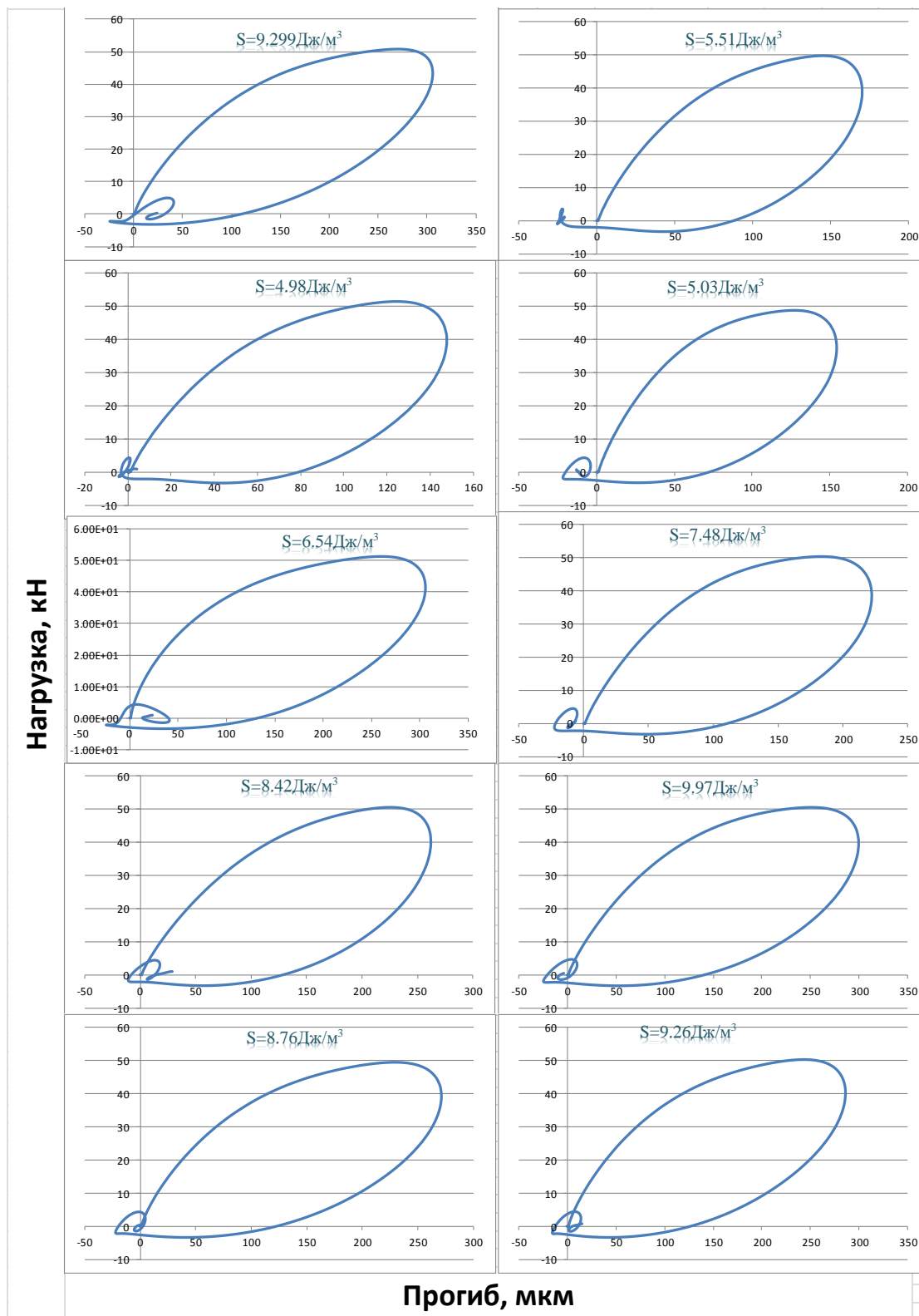


Рисунок 3. форма петли динамического гистерезиса на участке автомобильной дороги М1 км 278+000-298+000 (составлено автором)



Рисунок 4. форма петли динамического гистерезиса
на участке автомобильной дороги М4 км 1207-1240 (составлено автором)

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что с ухудшением технико-эксплуатационного состояния дорожной конструкции, увеличивается объем энергии, рассеиваемой в ее структуре при динамическом нагружении, определяемый на основе анализа площадей динамических петель гистерезиса. Фактически площадь петли гистерезиса является

в этом случае интегральным показателем, учитывающим любые изменения в состоянии как дорожной конструкции в целом, так и отдельных ее слоев, отражающей проявление любых механизмов вязкоупругого и неупругого деформирования. С практической точки зрения данные результаты являются экспериментальным базисом для создания нового подхода к техническому мониторингу состояния нежестких дорожных одежд, именно с позиций анализа суммарной энергии, рассеиваемой в ее структуре в течении всего жизненного цикла [9-10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Wang H., Li M. Nondestructive Evaluation of Pavement Structural Condition for Rehabilitation Design / Contract or Grant No. 49997-28-25. – University Transportation Research Center-Region II, City College of New York, 138th St. & Convent Ave., New York, NY 10031. May 2016 – 26 p.
2. Snaith, M.S., Robinson. R., Danielson, U. Road Maintenance Management: Concepts and Systems // М: 1998. 312 p.
3. 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.
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. Стрепихеев А.А., Деревицкая В.А., Слонимский Г.Л. Основы химии высокомолекулярных соединений – М.: Химия. 1966 – 516 с.
6. Вознесенский Е.А. и др. Использование данных сейсмоакустических исследований для оценки динамической устойчивости грунтов в массиве // Разведка и охрана недр. – 2005. – №. 12. – С. 41-46.
7. Веренько В.А. Надежность дорожных одежд. – 2002.
8. Веренько В.А. Дорожные композитные материалы. Структура и механические свойства / Под ред. И.И. Леоновича. – Минск: Наука и техника, 1993. – 246 с.
9. 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.
10. Волков И.А., Коротких Ю.Г. Уравнение состояния вязкоупругопластических сред с повреждениями. М.: Физматлит, 2008. 424 с.

Tiraturyan Artem Nikolaevich

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

Experimental studies of energy dissipation in the structure of the road structure under shock loading

Abstract. The article deals with the issues of experimental research of energy dissipation processes in the structure of pavements under shock loading. The study of these processes is characterized by scientific and practical significance, since it is the energy dissipation that is determined by the state and mechanisms of deformation of all the constructive layers of flexible pavements without exception. As part of these studies, a comprehensive assessment of the state of three sites in different technical and operational conditions was carried out, as evidenced by the average score for visual assessment and, accordingly, the number and types of defects. In all the surveyed areas, measurements were carried out using the FWD shock loading installation, with registration of dynamic hysteresis loops at each point in the “load-deflection” coordinates. The area of dynamic hysteresis loops was used to calculate the density of dissipated energy under impact. In the course of the work performed, it was established that when the transport and operational state of the site deteriorates, the density of the dissipated energy increases significantly, so for sites with an average score by visual assessment $B_{av} = 4.0$, the density of dissipated energy is $S_{av1} = 13.215 \text{ J/m}^3$ the mark on the visual estimate of $B_{av} = 4.61$ is the dissipated energy density $S_{av2} = 7.52 \text{ J/m}^3$, in the section with the average score on the visual estimate of $B_{av} = 4.78$ the density of the dissipated energy is $S_{av3} = 5.00 \text{ J/m}^3$. From a practical point of view, these results are an experimental basis for creating a new approach to technical monitoring of the state of flexible pavements, precisely from the standpoint of analyzing the total energy dissipated in its structure during the entire life cycle.

Keywords: road clothes; technical monitoring; installation of shock loading; dynamic loop of a hysteresis; the area of a loop of a hysteresis; density of the disseminated energy; deflection bowl; visual assessment

REFERENCES

1. Wang H., Li M. (2016). *Nondestructive Evaluation of Pavement Structural Condition for Rehabilitation Design*. New York: University Transportation Research Center – Region II, City College of New York, p. 26.
2. Snaith M.S., Robinson R., Danielson U. (1998). *Road Maintenance Management: Concepts and Systems*. Moscow, p. 312.
3. 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 (in Russian).
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. Strepikheev A.A., Derevitskaya V.A., Slonimskiy G.L. (1966). *Osnovy khimii vysokomolekulyarnykh soedineniy*. [Fundamentals of Chemistry of Macromolecular Compounds.] Moscow: Chemistry, p. 516.
6. Voznesenskiy E.A. and etc. (2005). Use of data of acoustic research to assess the dynamic stability of soils in the array. *Exploration and protection of mineral resources*, 12, pp. 41-46.
7. Veren'ko V.A. (2002). *Nadezhnost' dorozhnykh odezhd*. [Reliability of pavement.]
8. 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.
9. 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.
10. Volkov I.A., Korotkikh Yu.G. (2008). *Uravnenie sostoyaniya vyazkouprugoplasticheskikh sred s povrezhdeniyami*. [The equation of state of viscoelastoplastic media with damage.] Moscow: Fizmatlit, p. 424.