

УДК 625.7/8

## Прогнозирование остаточного ресурса дорожных одежд на автомобильных дорогах на основе анализа диссипации энергии при воздействии движущейся нагрузки

А.Н. Тиратуриян

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,  
пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону 344000, Россия

Поступила в редакцию 09.01.2023.

После доработки 05.04.2023.

Принята к публикации 17.04.2023.

Предложен метод прогнозирования остаточного ресурса дорожных одежд на автомобильных дорогах на основе анализа диссипации энергии при динамическом воздействии транспорта. Для решения данной задачи применён анализ её напряжённо-деформированного состояния, базирующийся на точном решении динамического уравнения Ламе, позволяющий построить амплитудно-временные характеристики перемещений, деформаций и напряжений. На основе построенных амплитудно-временных характеристик напряжений и деформаций осуществляется построение динамической петли гистерезиса, площадь которой соответствует объёму энергии диссипации в структуре дорожной одежды за единичный цикл деформирования. На основе представленного расчётного подхода разработан метод определения расчётной суммарной диссипации энергии в структуре дорожной одежды за срок службы. С использованием установки ударного нагружения FWD и передвижной диагностической лаборатории, проведено экспериментальное определение суммарной диссипации энергии за срок службы дорожной одежды. Их сопоставление позволяет прогнозировать износ и определить остаточный ресурс и срок службы дорожных одежд на автомобильных дорогах, а также назначить корректирующие мероприятия по их восстановлению.

**Ключевые слова:** дорожная одежда, износ дорожной одежды, усталостные разрушения, остаточный ресурс, диссипация энергии, петля гистерезиса.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-2-142-150

---

**Адрес для переписки:**

А.Н. Тиратуриян  
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,  
пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону 344000, Россия  
e-mail: tiraturjan@list.ru

---

**Address for correspondence:**

A.N. Tiraturyan  
Don State Technical University,  
Gagarin Square, 1, Rostov-on-Don 344000, Russia  
e-mail: tiraturjan@list.ru

---

**Для цитирования:**

А.Н. Тиратуриян.  
Прогнозирование остаточного ресурса дорожных одежд на автомобильных дорогах на основе анализа диссипации энергии при воздействии движущейся нагрузки.  
Трение и износ.  
2023. — Т. 44, № 2. — С. 142–150.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-2-142-150

---

**For citation:**

A.N. Tiraturyan.  
[Forecasting of the Residual Life of Pavements on Highways Based on the Analysis of Energy Dissipation under the Dynamic Influence of Transport].  
Trenie i Iznos.  
2023, vol. 44, no. 2, pp. 142–150 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-2-142-150

# Forecasting of the Residual Life of Pavements on Highways Based on the Analysis of Energy Dissipation under the Dynamic Influence of Transport

A.N. Tiraturyan

Don State Technical University,  
Gagarin Square, 1, Rostov-on-Don 344000, Russia

Received 09.01.2023.

Revised 05.04.2023.

Accepted 17.04.2023.

## Abstract

The aim of the work is to develop a method for predicting the residual life of road surfaces on highways based on the analysis of energy dissipation under the dynamic influence of transport. To solve this problem, the method of analyzing its stress-strain state is applied, based on the exact solution of the dynamic Lamé equation, which allows us to construct the amplitude-time characteristics of displacements, deformations and stresses. Based on the constructed amplitude-time characteristics of stresses and deformations, a dynamic hysteresis loop is constructed, the area of which corresponds to the volume of dissipation energy in the structure of the pavement for a single deformation cycle. Based on the presented computational approach, a method for determining the calculated total energy dissipation in the structure of the pavement over the service life has been developed. Using the FWD shock loading unit and a mobile diagnostic laboratory, an experimental method for determining the total energy dissipation over the service life of the pavement has been developed. Their comparison makes it possible to predict wear and determine the residual life and service life of road coverings on highways, as well as to assign corrective measures for their restoration.

**Keywords:** pavement, road wear, fatigue failure, residual resource, energy dissipation, hysteresis loop.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-2-142-150

---

### Адрес для переписки:

А.Н. Тиратуриян  
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,  
пл. Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону 344000, Россия  
e-mail: tiraturjan@list.ru

---

### Address for correspondence:

A.N. Tiraturyan  
Don State Technical University,  
Gagarin Square, 1, Rostov-on-Don 344000, Russia  
e-mail: tiraturjan@list.ru

---

### Для цитирования:

А.Н. Тиратуриян.  
Прогнозирование остаточного ресурса дорожных одежд на автомобильных дорогах на основе анализа диссипации энергии при воздействии движущейся нагрузки.  
Трение и износ.  
2023. — Т. 44, № 2. — С. 142–150.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-2-142-150

---

### For citation:

A.N. Tiraturyan.  
[Forecasting of the Residual Life of Pavements on Highways Based on the Analysis of Energy Dissipation under the Dynamic Influence of Transport].  
Trenie i Iznos.  
2023, vol. 44, no. 2, pp. 142–150 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-2-142-150

## Список использованных источников

1. Торская Е.В., Степанов Ф.И., Лушников Н.А. Моделирование деформации дорожных одежд подвижной нагрузкой // Трение и износ. — 2021 (42), № 2, 153—161
2. Zeng G., Xu W., and Huang H. Study of the Strain Response of Asphalt Pavements on Orthotropic Steel Bridge Decks through Field Testing and Numerical Simulation // Journal of Testing and Evaluation. — 2018 (48), no. 2, 1615—1633
3. Hassani A., Taghipoor M., and Karimi M.M. A State of the Art of Semi-Flexible Pavements: Introduction, Design, and Performance // Construction and Building Materials. — 2020 (253), 119196.
4. Lyapin A., Beskopylny A., and Meskhi B. Structural Monitoring of Underground Structures in Multi-Layer Media by Dynamic Methods // Sensors. — 2020 (20), no. 18, 5241
5. Lyapin A.A. On the Layered Structures Material Properties Definition // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — IOP Publishing. — 2019 (698), no. 6, 066015
6. Huang W. et al. Energy Analysis for Evaluating Durability of Porous Asphalt Mixture // Construction and Building Materials. — 2022 (326), 126819
7. Zhu X., Yang Y., Zhao H., Jelagin D., Chen F., Gilabert F.A., and Guarin A. Effects of Surface Texture Deterioration and Wet Surface Conditions on Asphalt Runway Skid Resistance // Tribology International. — 2021 (153), 106589.
8. Shen F. and Zhou K. Investigation on Thermal Response in Fretting Sliding with the Consideration of Plastic Dissipation, Surface Roughness and Wear // International Journal of Mechanical Sciences. — 2018 (148), 94—102
9. Wang D., Zhu Z., and Song D. Effects of Tensile Stress Ratio and Amplitude on Tension-Torsion Fretting-Corrosion-Fatigue behaviors of Non-Perpendicularly Crossed Steel Wires // Engineering Failure Analysis. — 2020 (117), 104839
10. Llavori I. et al. A Coupled 3D Wear and Fatigue Numerical Procedure: Application to Fretting Problems in Ultra-High Strength Steel Wires // International Journal of Fatigue. — 2021 (143), 106012
11. Вознесенский Е. А. и др. Использование данных сейсмоакустических исследований для оценки динамической устойчивости грунтов в массиве // Разведка и охрана недр. — 2005, № 12, 41—46
12. Uglova E.V., Tiraturyan A.N., and Akulov V.V. Soil Deformability Parameters of the Working Layer of the Subgrade Soil of Automobile Roads // Soil Mechanics and Foundation Engineering. — 2022 (59), no. 2, 154—158
13. Tiraturyan A.N., Uglova E.V., and Lyapin A.A. An Energy Method for Determining the Residual Resource of Nonrigid Road Pavements at the Stage of Operation // Russian Journal of Nondestructive Testing. — 2020 (56), no. 10, 864—872
14. Uglova E. and Tiraturyan A. Calculation of the

Damping Factors of the Flexible Pavement Structure Courses According to the In-Place Testing Data // Procedia Engineering. — 2017 (187), 742—748

## References

1. Torskaya E.V., Stepanov F.I., and Lushnikov N.A. Simulation of Pavement Deformation by a Moving Load // Journal of Friction and Wear. — 2021 (42), no. 2, 96—100
2. Zeng G., Xu W., and Huang H. Study of the Strain Response of Asphalt Pavements on Orthotropic Steel Bridge Decks through Field Testing and Numerical Simulation // Journal of Testing and Evaluation. — 2018 (48), no. 2, 1615—1633
3. Hassani A., Taghipoor M., and Karimi M.M. A State of the Art of Semi-Flexible Pavements: Introduction, Design, and Performance // Construction and Building Materials. — 2020 (253), 119196
4. Lyapin A., Beskopylny A., and Meskhi B. Structural Monitoring of Underground Structures in Multi-Layer Media by Dynamic Methods // Sensors. — 2020 (20), no. 18, 5241
5. Lyapin A.A. On the Layered Structures Material Properties Definition // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — IOP Publishing, 2019 (698), no. 6, 066015
6. Huang W. et al. Energy Analysis for Evaluating Durability of Porous Asphalt Mixture // Construction and Building Materials. — 2022 (326), 126819
7. Zhu X., Yang Y., Zhao H., Jelagin D., Chen F., Gilabert F.A., and Guarin A. Effects of Surface Texture Deterioration and Wet Surface Conditions on Asphalt Runway Skid Resistance // Tribology International. — 2021 (153), 106589
8. Shen F. and Zhou K. Investigation on Thermal Response in Fretting Sliding with the Consideration of Plastic Dissipation, Surface Roughness and Wear // International Journal of Mechanical Sciences. — 2018 (148), 94—102
9. Wang D., Zhu Z., and Song D. Effects of Tensile Stress Ratio and Amplitude on Tension-Torsion Fretting-Corrosion-Fatigue behaviors of Non-Perpendicularly Crossed Steel Wires // Engineering Failure Analysis. — 2020 (117), 104839
10. Llavori I. et al. A Coupled 3D Wear and Fatigue Numerical Procedure: Application to Fretting Problems in Ultra-High Strength Steel Wires // International Journal of Fatigue. — 2021 (143), 106012
11. Voznesenskij E.A. i dr. Ispol'zovanie dannyh sejsmoakusticheskikh issledovaniy dlya ocenki dinamicheskoy ustojchivosti gruntov v massive // Razvedka i ohrana neдр. — 2005, № 12, 41—46 (in Russian)
12. Uglova E.V., Tiraturyan A.N., and Akulov V.V. Soil Deformability Parameters of the Working Layer of the Subgrade Soil of Automobile Roads // Soil Mechanics and Foundation Engineering. — 2022 (59), no. 2, 154—158
13. Tiraturyan A.N., Uglova E.V., and Lyapin A.A.

An Energy Method for Determining the Residual Resource of Nonrigid Road Pavements at the Stage of Operation // Russian Journal of Nondestructive Testing. — 2020 (**56**), no. 10, 864—872

14. **Uglova E. and Tiraturyan A.** Calculation of the Damping Factors of the Flexible Pavement Structure Courses According to the In-Place Testing Data // Procedia Engineering. — 2017 (**187**), 742—748

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.  
Адрес редакции: 246050, ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь. Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11  
*Full text of articles can be purchased from the editorial office.*  
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050. Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11  
E-mail: [FWJ@tut.by](mailto:FWJ@tut.by)