

УДК 625.7/.8

Частотный отклик слоистых сред при различных условиях межслойного сцепления на примере автомобильных дорог

А.Н. Тиратуриян, Е.В. Углова

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

Поступила в редакцию 24.04.2024.

После доработки 10.10.2024.

Принята к публикации 14.10.2024.

Проведен анализ динамического отклика слоистой среды (на примере дорожной одежды автомобильных дорог), на динамическое воздействие для условий «спаянного» контакта между отдельными слоями, и условий полного проскальзывания. Для решения данной задачи применена математическая модель динамического напряжённо-деформированного состояния слоистого полупространства, базирующаяся на решении уравнения Ламе в перемещениях, с применением интегрального преобразования Ханкеля, построения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) ускорений на поверхности исследуемой среды, получаемой непосредственно из АЧХ перемещений. В ходе численного эксперимента на данной модели установлено, что случаю спаянного контакта между слоями дорожной одежды соответствует наличие одного чётко выраженного частотного экстремума на АЧХ ускорений. Случаю «полного проскальзывания» соответствует наличие ряда частотных экстремумов на АЧХ ускорения. При этом при моделировании полного проскальзывания на границе нижнего слоя полупространства, и подстилающего полупространства и варьировании модуля упругости полупространства, отмечается наличие чётко выделенного частотного экстремума в диапазоне 426—531 Гц предположительно соответствующего колебаниям самого подстилающего полупространства. Установленные закономерности могут использоваться при совершенствовании методов и средств неразрушающего контроля слоистых сред, в частности для повышения информативности об их структурном состоянии, необходимом для принятия решений о ремонте или капитальном ремонте.

Ключевые слова: слоистое полупространство, дорожная одежда, межслойное сцепление, амплитудно-частотная характеристика ускорений, частотный отклик.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-420-429

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
FGBOU VO «Don State Technical University»,
Gagarin Square, 1, Rostov-on-Don 344000, Russia
e-mail: tiraturjan@list.ru

Для цитирования:

А.Н. Тиратуриян, Е.В. Углова.
Частотный отклик слоистых сред при различных условиях межслойного сцепления на примере автомобильных дорог. Трение и износ. 2024. — Т. 45, № 5. — С. 420—429.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-420-429

For citation:

A.N. Tiraturyan and E.V. Uglova.
[Frequency Response of Layered Half-Space under Different Conditions of Interlayer Adhesion (on the Example of Highways)].
Trenie i Iznos. 2024, vol. 45, no. 5, pp. 420—429 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-420-429

Frequency Response of Layered Half-Space under Different Conditions of Interlayer Adhesion (on the Example of Highways)

A.N. Tiraturyan and E.V. Uglova

FGBOU VO «Don State Technical University»,
Gagarin Square, 1, Rostov-on-Don 344000, Russia

Received 24.04.2024.

Revised 10.10.2024.

Accepted 14.10.2024.

Abstract

The aim of the work is to analyze the dynamic response of a layered medium (on the example of road pavement of highways), on dynamic impact for the conditions of “soldered” contact between separate layers, and conditions of full slip. To solve this problem, a mathematical model of the dynamic stress-strain state of a layered half-space is applied, based on the solution of the Lamé equation in displacements, using the Hankel integral transformation, construction of the amplitude-frequency response (AFR) of accelerations on the surface of the studied medium, obtained directly from the AFR of displacements. In the course of numerical experiment on this model, it was found that the case of mating contact between the pavement layers corresponds to the presence of one well-defined frequency extremum on the AFC of accelerations. The case of “full slip” corresponds to the presence of a number of frequency extrema on the acceleration frequency response. In this case, when modeling the full slip at the boundary of the bottom layer of the half-space and the underlying half-space and varying the modulus of elasticity of the half-space, the presence of a well-defined frequency extremum in the range of 426—531 Hz is noted, presumably corresponding to the oscillations of the underlying half-space itself. The established regularities can be used at perfection of methods and means of nondestructive control of layered media, in particular for increase of informativeness about their structural condition necessary for decision-making about repair or major repair.

Keywords: layered half-space, pavement, interlayer bonding, amplitude-frequency characteristic of accelerations, frequency response.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-420-429

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

Для цитирования:

А.Н. Тиратуриян, Е.В. Углова.
Частотный отклик слоистых сред при различных условиях межслойного сцепления на примере автомобильных дорог. Трение и износ. 2024. — Т. 45, № 5. — С. 420—429.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-420-429

Address for correspondence:

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

For citation:

A.N. Tiraturyan and E.V. Uglova.
[Frequency Response of Layered Half-Space under Different Conditions of Interlayer Adhesion (on the Example of Highways)].
Trenie i Iznos. 2024, vol. 45, no. 5, pp. 420—429 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-420-429

Список использованных источников

1. Горский М.Ю. и др. Совершенствование методики расчета нежестких дорожных одежд с учетом применения решения задачи теории упругости для многослойного полупространства // Дороги и мосты. — 2021, № 2, 46—74
2. **Burmister D.M.** The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems // Journal of Applied Physics. — 1945, no. 2, 89—94
3. **Singh A.K. and Sahoo J.P.** Analysis and Design of Two Layered Flexible Pavement Systems: A New Mechanistic Approach // Computers and Geotechnics. — 2020 (117), 103238
4. **Le M.-T., Nguyen Q.-H., and Nguyen M.L.** Numerical and Experimental Investigations of Asphalt Pavement Behaviour, Taking into Account Interface Bonding Conditions // Infrastructures. — 2020, no. 5, 21. <https://doi.org/10.3390/infrastructures5020021>
5. **Khazanovich L. and Wang Q.** MnLayer: High-Performance Layered Elastic Analysis Program // Transportation Research Record. — 2007 (2037), no. 1, 63—75
6. **Торская Е.В., Степанов Ф.И., Лушников Н.А.** Моделирование деформации дорожных одежд подвижной нагрузкой // Трение и износ. — 2021 (42), № 2, 153—161
7. **Торская Е.В.** Модели фрикционного взаимодействия тел с покрытиями. — Москва, Ижевск: Институт компьютерных исследований. — 2020
8. **Горячева И.Г., Торская Е.В.** Моделирование контактно-усталостного разрушения двухслойного упругого основания // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. — 2008, № 3, 132—144
9. **Чебаков М.И., Данильченко С.А., Ляпин А.А.** Контактная задача для упругого параллелепипеда при наличии трения и износа // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. — 2017, № 2(194), 32—37
10. **Чебаков М.И., Колосова Е.М., Ляпин А.А.** Контактное взаимодействие бандажа и полого цилиндра с дефектом при переменном внутреннем давлении // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. — 2014, № 3, 75—83
11. **Ляпин А.А.** Контактная задача для металлополимерного соединения с учетом температурных полей // Современные проблемы механики сплошной среды. — 2007, 219
12. **Zhang W. et al.** Study on the Interlayer Bonding State of an Asphalt Pavement Based on the Stacking Peak Ratio Method // Frontiers in Energy Research. — 2023 (11), 1277817
13. **Кадыров Г.Ф., Симчук Е.Н., Горский М.Ю., Симчук А.Е., Стрельцов А.В.** Количественная оценка сцепления асфальтобетонных слоев дорожной одежды // Наука и техника в дорожной

отрасли. — 2023, № 4, 20—23

14. **Czarnecki S., Sadowski L., and Hola J.** Evaluation of Interlayer Bonding in Layered Composites Based on Non-Destructive Measurements and Machine Learning: Comparative Analysis of Selected Learning Algorithms // Automation in Construction. — 2021 (132), 103977
15. **Бабешко В.А., Глушков Е.В., Зинченко Ж.Ф.** Динамика неоднородных линейно-упругих сред. — М.: Наука. — 1989

References

1. **Gorskiy M.Yu. i dr.** Sovershenstvovanie metodiki rascheta nezhestkih dorozhnyh odezhd s uchetom primeneniya resheniya zadachi teorii uprugosti dlya mnogoslajnogo poluprostranstva // Dorogi i mosty. — 2021, № 2, 46—74
2. **Burmister D.M.** The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems // Journal of Applied Physics. — 1945, no. 2, 89—94
3. **Singh A.K. and Sahoo J.P.** Analysis and Design of Two Layered Flexible Pavement Systems: A New Mechanistic Approach // Computers and Geotechnics. — 2020 (117), 103238
4. **Le M.-T., Nguyen Q.-H., and Nguyen M.L.** Numerical and Experimental Investigations of Asphalt Pavement Behaviour, Taking into Account Interface Bonding Conditions // Infrastructures. — 2020, no. 5, 21. <https://doi.org/10.3390/infrastructures5020021>
5. **Khazanovich L. and Wang Q.** MnLayer: High-Performance Layered Elastic Analysis Program // Transportation Research Record. — 2007 (2037), no. 1, 63—75
6. **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
7. **Torskaya E.V.** Modeli frikcionnogo vzaimodejstviya tel s pokrytiami. — Moskva, Izhevsk: Institut komp'yuternyh issledovanij. — 2020
8. **Goryacheva I.G., Torskaya E.V.** Modelirovanie kontaktno-ustalostnogo razrusheniya dvuhslajnogo uprugogo osnovaniya // Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Mekhanika tverdogo tela. — 2008, № 3, 132—144
9. **Chebakov M.I., Danil'chenko S.A., Lyapin A.A.** Kontaktnaya zadacha dlya uprugogo parallelepipeda pri nalichii treniya i iznosa // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki. — 2017, № 2(194), 32—37
10. **Chebakov M.I., Kolosova E.M., Lyapin A.A.** Kontaktnoe vzaimodejstvie bandazha i pologo cilindra s defektom pri peremennom vnutrennem davlenii // Ekologicheskij vestnik nauchnyh centrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva. — 2014, № 3, 75—83

11. **Lyapin A.A.** Kontaknaya zadacha dlya metallopolimernogo soedineniya s uchetom temperaturnykh polej // *Covremennye problemy mehaniki sploshnoy sredy*. — 2007, 219
12. **Zhang W. et al.** Study on the Interlayer Bonding State of an Asphalt Pavement Based on the Stacking Peak Ratio Method // *Frontiers in Energy Research*. — 2023 (11), 1277817
13. **Kadyrov G.F., Simchuk E.N., Gorskij M.Yu., Simchuk A.E., Strel'cov A.V.** Kolichestvennaya ocenka scepneniya asfal'tobetonnykh sloev dorozhnoy odezhdy // *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*. — 2023, № 4, 20—23
14. **Czarnecki S., Sadowski L., and Hoła J.** Evaluation of Interlayer Bonding in Layered Composites Based on Non-Destructive Measurements and Machine Learning: Comparative Analysis of Selected Learning Algorithms // *Automation in Construction*. — 2021 (132), 103977
15. **Babeshko V.A., Glushkov E.V., Zinchenko Zh.F.** Dinamika neodnorodnykhlineyno-uprugikh sred [Dynamics of inhomogeneous linear elastic media]. — Moscow: Nauka. — 1989 (in Russian)

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