

УДК 539.3; 621.897

Асимптотическое решение контактной задачи о стационарном качении жесткого цилиндра с вязкоупругим поверхностным слоем

Е.В. Коднянко¹, С.В. Шилько², Д.А. Черноус^{2,3}

¹ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством»,
ул. Козлова, 69, г. Солигорск 223710, Беларусь

²Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь

³Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»,
ул. Кирова, 34, г. Гомель 246653, Беларусь

Поступила в редакцию 01.07.2024.

После доработки 12.10.2024.

Принята к публикации 14.10.2024.

Разработан аналитический метод расчёта параметров контакта при качении цилиндрического тела, имеющего тонкий вязкоупругий поверхностный слой, по недеформируемой направляющей. Метод основан на упруго-вязкоупругой аналогии и асимптотическом приближении точного решения задачи теории упругости для тонкой полосы. Рассмотрен режим установившегося качения при заданных значениях нормальной нагрузки и скорости перемещения центра тела качения. В примере расчёта значения исходных параметров соответствовали опоре шахтного скипа с элементами качения в виде стальных роликов с полиуретановым ободом. Получены зависимости силы сопротивления качению (параллельной горизонтальной опорной поверхности) от скорости, а также коэффициентов трения скольжения и Пуассона материала обода. Зависимость силы сопротивления качению от скорости имеет максимум, который в рассмотренном примере соответствует скорости 8 м/с. С ростом коэффициента Пуассона материала обода сила сопротивления качению снижается. Расчётные значения сопоставлены с оценками параметров контакта, полученными в рамках упрощённой модели основания Винклера. Показано, что расхождение результатов не превышает 5 %. Разработанный метод может быть использован для проектирования и прогнозирования долговечности металлополимерных узлов трения с цилиндрическими телами качения.

Ключевые слова: металлополимерная опора качения, деформируемый обод, трение, контактные напряжения, зоны сцепления и проскальзывания, асимптотическое приближение, основание Винклера, ядро релаксации.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-375-383

Адрес для переписки:

С.В. Шилько
Институт механики металлополимерных систем
имени В.А. Белого НАН Беларуси,
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь
e-mail: shilko_mpr@mail.ru

Address for correspondence:

S.V. Shil'ko
V.A. Bely Metal-Polymer Research Institute of NAS Belarus,
Kirov St., 32a, Gomel 246050, Belarus
e-mail: shilko_mpr@mail.ru

Для цитирования:

Е.В. Коднянко, С.В. Шилько, Д.А. Черноус.
Асимптотическое решение контактной задачи о стационарном
качении жесткого цилиндра с вязкоупругим поверхностным
слоем.
Трение и износ.
2024. — Т. 45, № 5. — С. 375—383.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-375-383

For citation:

E.V. Kadnianka, S.V. Shil'ko, and D.A. Chernous.
[Asymptotic Solution of the Contact Problem on the Stationary Rolling
of a Rigid Cylinder with a Viscoelastic Surface Layer].
Trenie i Iznos.
2024, vol. 45, no. 5, pp. 375—383 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-375-383

Asymptotic Solution of the Contact Problem on the Stationary Rolling of a Rigid Cylinder with a Viscoelastic Surface Layer

E.V. Kadnianka¹, S.V. Shil'ko², and D.A. Chernous^{2,3}

¹JSC "Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production",
Kozlov St., 69, Soligorsk 223710, Belarus

²V.A. Bely Metal-Polymer Research Institute of NAS Belarus,
Kirov St., 32a, Gomel 246050, Belarus

³Belarusian State University of Transport,
Kirov St., 34, Gomel 246653, Belarus

Received 01.07.2024.

Revised 12.10.2024.

Accepted 14.10.2024.

Abstract

An analytical method of calculation of contact parameters at rolling of cylindrical body, having a thin viscoelastic surface layer, over rigid sideway was developed. The technique is based on elastic-viscoelastic analogy and asymptotic approximation of the exact solution of the elasticity theory problem for a thin strip. The mode of steady rolling at given normal force and speed of motion of the center of the rolling body is considered. In the example of calculation the initial parameters were corresponded to rolling support of a mine skip with rolling elements in form of steel rollers with polyurethane rim. The dependences of rolling resistance force (which is parallel to the supporting surface) on speed, friction coefficient at sliding and Poisson's ratio of the rim material were obtained. The dependence of rolling resistance force on speed has a maximum, which corresponds to a speed of 8 m/s in the example considered. The rolling resistance decreases as the Poisson's ratio of the rim material increases. The calculated values are compared with assessments of contact parameters obtained within the framework of a simplified Winkler foundation model. It is shown that the discrepancy of results does not exceed 5 %. The developed technique can be used for design and prediction the durability of metal-polymer rolling bearings.

Keywords: metal-polymer rolling bearing, deformable rim, friction, contact stresses, adhesion and slip zones, asymptotic approximation, Winkler's base model, relaxation core.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-375-383

Адрес для переписки:

С.В. Шилько
Институт механики металлополимерных систем
имени В.А. Белого НАН Беларуси,
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь
e-mail: shilko_mpri@mail.ru

Address for correspondence:

S.V. Shil'ko
V.A. Bely Metal-Polymer Research Institute of NAS Belarus,
Kirov St., 32a, Gomel 246050, Belarus
e-mail: shilko_mpri@mail.ru

Для цитирования:

Е.В. Коднянко, С.В. Шилько, Д.А. Черноус.
Асимптотическое решение контактной задачи о стационарном
качении жесткого цилиндра с вязкоупругим поверхностным
слоем.
Трение и износ.
2024. — Т. 45, № 5. — С. 375—383.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-375-383

For citation:

E.V. Kadnianka, S.V. Shil'ko, and D.A. Chernous.
[Asymptotic Solution of the Contact Problem on the Stationary Rolling
of a Rigid Cylinder with a Viscoelastic Surface Layer].
Trenie i Iznos.
2024, vol. 45, no. 5, pp. 375—383 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-5-375-383

Список использованных источников

1. **Yoshitaka Uchiyama.** Polymeric Elastomers: Tribological Behavior and Engineering Components / In: Encyclopedia of Tribology, 1st ed: Eds. Jane Wang and Yip-Wah Chung. — Springer. — 2013
2. **Скип шахтный:** пат. 11460 Респ. Беларусь, МПК В66В 17/32; заявитель Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством. — № и 20170053; заявл. 22.02.2017 / В.Я. Прушак, В.Я. Щерба, Д.А. Морев
3. **Черноус Д.А., Коднянко Е.В.** Асимптотический подход к решению контактной задачи для тела качения с тонким деформируемым ободом // Механика машин, механизмов и материалов. — 2023, № 1(62), 79—87
4. **Winkler E.** Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit. — Prag: Verlag von H. Dominicus. — 1867
5. **Кравчук А.С., Кравчук А.И.** Прикладные контактные задачи для обобщенной стерневой модели покрытия. — Санкт-Петербург: Научно-технологические технологии. — 2019
6. **Jaffar M.J.** Asymptotic Behaviour of Thin Elastic Layer Bonded and Unbonded to a Rigid Foundation // Int. J. Mech. Sci. — 1989 (31), 229—235
7. **Коднянко Е.В., Шилько С.В., Черноус Д.А.** Метод решения контактной задачи о свободном качении по жесткому основанию цилиндрического тела с деформируемым ободом // Трение и износ. — 2024 (45), № 1, 5—15
8. **Вильке В.Г., Сеницын В.А.** Стационарный режим качения колеса с вязкоупругой периферией // Механика твердого тела. — 1997, № 3, 39—46
9. **Попов В.Л.** Механика контактного взаимодействия и физика трения. — М.: Физматлит. — 2012
10. **Christensen R.M.** Theory of Viscoelasticity, 2nd ed. — New York: Academic Press. — 1982
11. **Ferry J.D.** Viscoelastic Properties of Polymers, 3rd ed. — New York – London: Wiley. — 1980

References

1. **Yoshitaka Uchiyama.** Polymeric Elastomers: Tribological Behavior and Engineering Components / In: Encyclopedia of Tribology, 1st ed: Eds. Jane Wang and Yip-Wah Chung. — Springer. — 2013
2. **Skip shahtnyj:** pat. 11460 Resp. Belarus', MPK V66V 17/32; zayavitel' Soligorskij Institut problem resursosberezheniya s Opytnym proizvodstvom — № u 20170053; zayavl. 22.02.2017 / V.Ya. Prushak, V.Ya. Shcherba, D.A. Morev (in Russian)
3. **Chernous D.A., Kodnyanko E.V.** Asimptoticheskij podhod k resheniyu kontaktnoj zadachi dlya tela kacheniya s tonkim deformiruemyim obodom // Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov. — 2023 (62), no. 1, 79—87 (in Russian)
4. **Winkler E.** Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit. — Prag: Verlag von H. Dominicus. — 1867
5. **Kravchuk A.S., Kravchuk A.I.** Prikladnye kontaktnye zadachi dlya obobshchennoj sternevoj modeli pokrytiya — Sankt-Peterburg: Naukoemkie tekhnologii. — 2019 (in Russian)
6. **Jaffar M.J.** Asymptotic Behaviour of Thin Elastic Layer Bonded and Unbonded to a Rigid Foundation // Int. J. Mech. Sci. — 1989 (31), 229—235
7. **Kadnianka E.V., Shil'ko S.V., and Chernous D.A.** A Solution Method for the Contact Problem of Free Rolling on a Rigid Foundation of a Cylindrical Body with a Deformable Rim // Friction and Wear. — 2024 (45), no. 1, 5—15
8. **Vil'ke V.G., Sinicyn V.A.** Stacionarnyj rezhim kacheniya kolesa s vyazkouprugoj periferiej // Mekhanika tverdogo tela. — 1997, no. 3, 39—46 (in Russian)
9. **Popov V.L.** Mekhanika kontaktnogo vzaimodejstviya i fizika treniya [Physics of Friction]. — Moscow: Fizmatlit. — 2012 (in Russian)
10. **Christensen R.M.** Theory of Viscoelasticity, 2nd ed. — New York: Academic Press. — 1982
11. **Ferry J.D.** Viscoelastic Properties of Polymers, 3rd ed. — New York – London: Wiley. — 1980

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