

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2020-6-3-66-76>

УДК 678.0; 624.072.21.7

НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ «ШПАЛА ИЗ ТЕРМОПЛАСТКОМПОЗИТА– БАЛЛАСТНАЯ ПРИЗМА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ» ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОЕЗДНОЙ НАГРУЗКИ

Д. И. БОЧКАРЕВ⁺, Е. А. СИГАЙ, А. С. ПОСТНИКОВ

Белорусский государственный университет транспорта, ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель, Беларусь

Цель работы — определение осадки железнодорожной шпалы, действующих в ней внутренних силовых факторов под влиянием нагрузок от подвижного состава и разработка конструкции шпалы из термопласткомпозиата.

Железнодорожную шпалу моделировали в виде гибкого линейно-упругого элемента пути во взаимодействии с балластной призмой в виде нелинейно-упругих слоев конечной толщины с переменным модулем упругости. Для расчета упругого основания с учетом физической нелинейности слоев использовали метод конечных разностей в вариационной постановке, то есть вариационно-разностный подход. Для реализации указанного подхода составили программу в компьютерной среде Mathematica и провели ее числовую апробацию. Результаты математического моделирования шпалы с использованием универсальной программной системы конечно-элементного (МКЭ) анализа позволили получить значения действующих в ней напряжений и предложить оптимальную для ее изготовления из термопласткомпозиата конструкцию с учетом его физико-механических свойств.

В результате предложен новый эффективный итерационный подход для расчета шпал на нелинейно-упругом неоднородном основании, основывающийся на свойстве минимума функционала полной энергии системы «шпала–основание» и позволяющий определить напряженно-деформированное состояние основания, исследовать контактную зону, вычислить внутренние усилия и осадки шпалы. Полученные при нелинейном расчете значения осадок превышают результаты линейного расчета на 39%, что приводит к возрастанию реактивных давлений в зоне контакта балки с упругим основанием. Учет этого обстоятельства может позволить проектировать верхнее строение пути с необходимым запасом прочности.

Ключевые слова: шпала, нагрузка, балка, изгиб, перемещение, деформация, напряжение, термопласткомполит, армирование.

NONLINEAR CALCULATION OF SYSTEM “SLEEPER FROM THERMOPLASTIC COMPOSITE–RAILWAY BALLAST PRISM” UNDER THE ACTION OF TRAIN LOAD

D. I. BOCHKARYOV⁺, E. A. SIGAI, A. S. POSTNIKOV

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

The aim of the work is to determine the draft of railway sleepers and internal force factors acting in it under the influence of loads from rolling stock and to develop the design of sleepers from thermoplastic composite.

⁺ Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: bochk_dmitr@mail.ru

Railway sleeper has modeled as a flexible linear-elastic track element in interaction with a ballast prism in the form of nonlinear-elastic layers of finite thickness with a variable deformation modulus. To calculate the elastic base, taking into account the physical nonlinearity of the layers, we use the finite difference method in the variational formulation (variational-difference approach). To implement this approach, a program in Mathematica was compiled and its numerical testing was carried out. The results of mathematical modeling of sleepers using the universal software system of finite element (FEM) analysis allow us to obtain the values of the force factors acting in it and offer the optimal design for its manufacture from a thermo-plastic composite taking into account its physical and mechanical properties.

As a result, a new effective iterative approach has been proposed for calculating sleepers on a nonlinearly elastic inhomogeneous base, based on the property of the minimum total energy functional of the sleepers-base system and which allows determining the stress-strain state of the foundation, investigating the contact zone, and calculating the internal forces and precipitation of the sleepers. The values of sediment obtained during non-linear calculation exceed the results of linear calculation by 39%, which leads to an increase in reactive pressures in the zone of contact between the beam and the elastic base. Taking this circumstance into account may allow designing the upper track structure with the necessary safety margin.

Keywords: sleeper, load, beam, bending, displacement, deformation, stress, thermoplastic composite, reinforcement.

Поступила в редакцию 15.06.2020

© Д. И. Бочкарев, Е. А. Сига́й, А. С. Постников, 2020

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в [редакцию журнала](#)
Full text of articles can be purchased from the editorial office

Адрес редакции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь
Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11

Address: Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus
Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11

E-mail: polmattex@gmail.com
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

Образец цитирования:

Бочкарев Д. И., Сига́й Е. А., Постников А. С. Нелинейный расчет системы «шпала из термопласткомпозиата–балластная призма железнодорожного пути» под действием поездной нагрузки // Полимерные материалы и технологии. 2020. Т. 6, № 3. С. 66–76. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2020-6-3-66-76>

Citation sample:

Bochkarev D. I., Sigay E. A., Postnikov A. S. Nelineyny raschet sistemy «shpala iz termoplastkompozita–ballastnaya prizma zheleznodorozhnogo puti» pod deystviem poezdnoy nagruzki [Nonlinear calculation of system “sleeper from thermoplastic composite–railway ballast prism” under the action of train load]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2020, vol. 6, no. 3, pp. 66–76. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2020-6-3-66-76>

Литература

1. Александров А. В., Потапов В. Д. Основы теории упругости и пластичности. М. : Высшая школа, 1990. 398 с.
2. Лукаш П. А. Основы нелинейной строительной механики. М. : Стройиздат, 1978. 204 с.
3. Козунова О. В., Бочкарев Д. И., Сига́й Е. А. Расчет слоистого основания с использованием степенных функций в законе нелинейно-упругого деформирования // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки: международный сборник научных трудов / под ред. А. О. Шимановского. Гомель : БелГУТ, 2011. Вып. 5. С. 69–77.
4. Босаков С. В., Козунова О. В. Вариационно-разностный подход к решению контактной задачи для нелинейно упругого неоднородного основания. Плоская деформация. Теория расчета // Вестник БНТУ. 2009. № 1. С. 5–13.
5. Сига́й Е. А., Бочкарев Д. И. Учет физической нелинейности материала в расчете осадок верхнего строения пути // Про-

- блемы безопасности на транспорте: материалы VI Международной научно-практической конференции: к 150-летию Белорусской железной дороги / под общ. ред. В. И. Сенько. Гомель : БелГУТ, 2012. С. 148–149.
6. Козунова О. В., Сига́й Е. А., Бочкарев Д. И. Учет физической нелинейности материала в расчете осадок верхнего строения пути // Ресурсоэкономни материали, конструкції, будівлі та споруди : міжнародний збірник наукових статей. Ровно, 2011. Вип. 23. С. 541–548.
 7. Козунова О. В. Нелинейный расчет балочных плит на слоистых основаниях с биогенными включениями // Геотехника Беларуси: наука и практика: сборник статей международной научно-технической конференции, Минск, 20–22 октября 2008 г. Минск : БНТУ, 2008. С. 27–63.
 8. Шаповалов В. М., Бочкарев Д. И., Рогачев В. Е., Лапшина Е. М., Носов К. С., Чуб А. В. Использование полимерных композитов в производстве шпал для магистральных и подъездных путей // Полимерные композиты и трибология (Поликомтриб-2011) [Электронный ресурс] : материалы международной научно-технической конференции (27–30 июня 2011 г.). Гомель : ИММС НАНБ, 2011. 1 CD-ROM.
 9. EN 1991 Eurocode 1: Actions on structures [Электронный ресурс]. URL: <https://www.yumpu.com/en/document/read/28927702/en-1991-eurocode-1-actions-on-structures-part-1-3-eurocodes> (дата обращения: 30.01.2020)
 10. Бочкарев Д. И., Постников А. С. Исследование напряженно-деформированного состояния шпалы из термoplastкомпози́та // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX международной научно-практической конференции (28–29 ноября 2019 г.). Гомель : БелГУТ, 2018. Ч. 1. С. 337–339.

References

1. Aleksandrov A. V., Potapov V. D. *Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti* [Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity]. Moscow : Vysshaya shkola Publ., 1990. 398 p.
2. Lukash P. A. *Osnovy nelineynoy stroitel'noy mekhaniki* [Fundamentals of Nonlinear Structural Mechanics]. Moscow : Stroyizdat Publ., 1978. 204 p.
3. Kozunova O. V., Bochkarev D. I., Sigay E. A. Raschet sloistogo osnovaniya s ispol'zovaniem stepennykh funktsiy v zakone nelineyno-uprugogo deformirovaniya [Calculation of a layered base using power functions in the law of nonlinear elastic deformation]. *Mekhanika. Nauchnye issledovaniya i uchebno-metodicheskie razrabotki: mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh trudov* [Mechanics. Scientific research and educational-methodical developments]. Gorn' : BelGUT Publ., 2011, is. 5, pp. 69–77.
4. Bosakov S. V., Kozunova O. V. Variatsionno-raznostnyy pod-khod k resheniyu kontaktnoy zadachi dlya nelineyno uprugogo neodnorodnogo osnovaniya. Ploskaya deformatsiya. Teoriya rascheta [A variational-difference approach to solving the contact problem for a nonlinearly elastic in-homogeneous base. Flat deformation. Calculation theory]. *Vestnik BNTU* [Bulletin of the BNTU], 2009, no. 1, pp. 5–13.
5. Sigay E. A., Bochkarev D. I. Uchet fizicheskoy nelineynosti materiala v raschete osadok verkhnego stroeniya puti [Taking into account the physical nonlinearity of the material in the calculation of the sediment of the upper track structure]. *Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy bezopasnosti na transporte»* [Proceeding of the VI International scientific and practical conference “Transport safety problems”]. Gorn' : BelGUT Publ., 2012, pp. 148–149.
6. Kozunova O. V., Sigay E. A., Bochkarev D. I. Uchet fizicheskoy nelineynosti materiala v raschete osadok verkhnego stroeniya puti [Taking into account the physical nonlinearity of the material in the calculation of the sediment of the upper track structure]. *Resursoekonomni materialy, konstruktzii, budivli ta sporudi : mezhdunarodnyy sbornik nauchnykh statey* [Resource-saving materials, constructions, buildings and structures]. Rovno, 2011, is. 23, pp. 541–548.
7. Kozunova O. V. Nelineynyy raschet balochnykh плит na sloistykh osnovaniyakh s biogennymi vkluchenyami [Nonlinear calculation of beam slabs on layered substrates with biogenic inclusions]. *Sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Geotekhnika Belarusi: nauka i praktika»* [Collection of articles of the international scientific and technical conference “Geotechnics of Belarus: science and practice”]. Minsk : BNTU Publ., 2008, pp. 27–63.
8. Shapovalov V. M., Bochkarev D. I., Rogachev V. E., Lapshina E. M., Nosov K. S., Chub A. V. Ispol'zovanie polimernykh kompozitov v proizvodstve shpal dlya magistral'nykh i pod"ezdnykh putey [The use of polymer composites in the production of sleepers for trunk and driveways]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Polimernye kompozity i tribologiya (Polikomtrib-2011)»* [Proceeding of the international scientific and technical conference “Polymer composites and tribology (Polikomtrib-2011)”]. Gorn' : IMMS NANB, 2011. 1 CD-ROM.
9. EN 1991 Eurocode 1: Actions on structures. Available at: <https://www.yumpu.com/en/document/read/28927702/en-1991-eurocode-1-actions-on-structures-part-1-3-eurocodes> (accessed 30.01.2020)
10. Bochkarev D. I., Postnikov A. S. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya shpaly iz termoplastkompozita [The study of the stress-strain state of sleepers from thermoplast composite]. *Materialy IX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Problemy bezopasnosti na transporte»* [Proceeding of the IX international scientific and practical conference “Transport safety problems”]. Gorn' : BelGUT, 2018, part. 1, pp. 337–339.