

УДК 630*377.4:625.711.84

М. Т. Насковец¹, Ю. А. Ким², П. Н. Жлобич¹, Т. М. Тявловская², О. К. Щербакова²¹Белорусский государственный технологический университет²Белорусский национальный технический университет**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕСНОЙ НАГРУЗКИ С ГРУНТОВЫМИ ОСНОВАНИЯМИ ЛЕСНЫХ ДОРОГ БЕЗ ПОКРЫТИЙ**

Поиски решения проблемы взаимодействия транспортных средств с поверхностью дорожного полотна при движении по лесным дорогам без покрытий (сельскохозяйственным дорогам или промышленным транспортным коммуникациям) весьма актуальны ввиду недостаточной изученности данного явления в теоретическом плане. С этой целью рассмотрены вопросы функционального назначения автомобильного движителя как системы колес с пневматическими шинами.

Статья содержит анализ конструктивных особенностей подвижного состава лесотранспортных средств с точки зрения сочетания осей подвижного состава и наличия в них колес, что несомненно следует учитывать при передаче подвижной нагрузки через пятно контакта с грунтовой поверхностью. Данный аспект взаимодействия оказывает существенное влияние на работу дорожной конструкции в процессе перераспределения нагрузки по ее глубине и ширине грунтового массива.

Значительное внимание в статье уделено процессу формирования колеи, происходящему в толще грунтового основания при движении по его поверхности подвижной колесной нагрузки. Теоретические исследования указывают на зависимость образования колеи в процессе перемещения колес ходовых систем от влажностного режима грунта, а также их уплотняющего воздействия на грунтовое основание, которое напрямую связано с формой применяемых шин и характером распределения давления в пятне контакта.

Ключевые слова: осевые нагрузки, колесный движитель, взаимодействие колеса с дорожным полотном, дороги без покрытий, колееобразование.

Для цитирования: Насковец М. Т., Ким Ю. А., Жлобич П. Н., Тявловская Т. М., Щербакова О. К. Теоретические предпосылки взаимодействия колесной нагрузки с грунтовыми основаниями лесных дорог без покрытий // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 1 (276). С. 144–149.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-19.

M. T. Naskovets¹, Yu. A. Kim², P. N. Zhlobich¹, T. M. Tyavlovskaya², O. K. Shcherbakova²¹Belarusian State Technological University²Belarusian National Technical University**THEORETICAL PREREQUISITES OF INTERACTION OF WHEEL LOAD WITH SOIL BASES OF FOREST ROADS WITHOUT COVERINGS**

The search for a solution to the problem of interaction of vehicles with the surface of the roadbed when driving on unpaved forest roads (agricultural roads or industrial transport communications) is quite relevant due to its insufficient theoretical knowledge. For this purpose, the issues of the functional purpose of an automobile engine, as a system of wheels with pneumatic tires, are considered.

The article contains an analysis of the design features of the rolling stock of forest vehicles, from the point of view of the combination of the axes of the rolling stock and the presence of wheels in them, which undoubtedly should be taken into account when transferring the rolling load through the contact spot with the ground surface. This aspect of interaction has a significant impact on the work of the road structure in the process of redistribution along its depth and width of the soil massif.

Considerable attention is paid in the article to the process of formation of ruts occurring in the thickness of the soil base when moving a movable wheel load along its surface. Theoretical studies indicate the dependence of the formation of ruts during the movement of wheels of running systems on the moisture regime of the soil, as well as their compacting effect on the soil base, which is directly related to the shape of the tires used and the nature of the pressure distribution in the contact patch.

Keywords: axial loads, wheel propulsion, wheel-to-road interaction, unpaved roads, track formation.

For citation: Naskovets M. T., Kim Yu. A., Zhlobich P. N., Tyavlovskaya T. M., Shcherbakova O. K. Theoretical prerequisites of interaction of wheel load with soil bases of forest roads without coverings. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 1 (276), pp. 144–149 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-19.

Колеса осей, разнесенных на значительное расстояние, создают импульсы нагрузки с определенным интервалом времени действия. Такое воздействие нагрузки является знакопеременным и разрушительно влияет на состояние дорог, особенно на грунтовое дорожное полотно.

Луковицы напряжений (рис. 3) от каждого из спаренных колес, распространяющиеся вглубь грунтового массива, пересекаются и в этой зоне происходит суммирование напряжений [7].

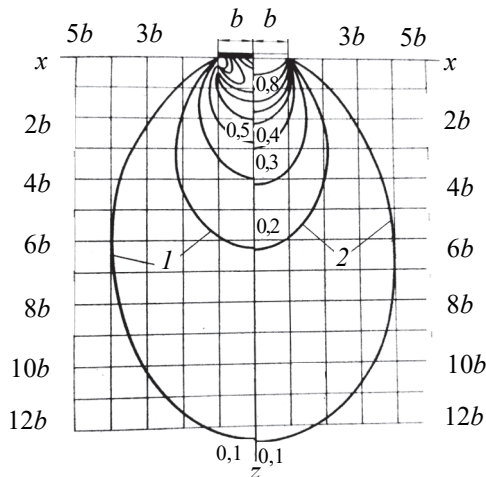


Рис. 3. Кривые равных вертикальных нормальных напряжений от нагрузки, приложенной к жесткой (1) и гибкой (2) бесконечным полосам

Сдвигание колес (рис. 4) является одним из способов снижения нагрузки на полосу [8]. Однако эта мера имеет негативную сторону – поперечное перемещение грунта с образованием буртиков не только за пределами колеи, но и в межколесном пространстве (рис. 5).

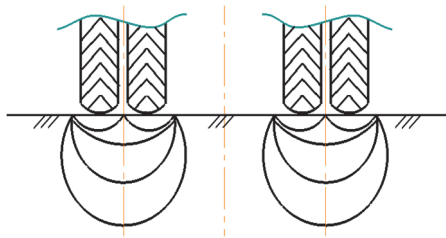


Рис. 4. Распределение напряжений по глубине дорожной конструкции при воздействии спаренных колес

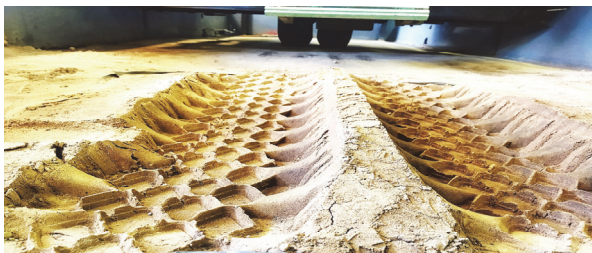


Рис. 5. Выпирание грунта при воздействии нагрузки от спаренных колес

Как следует из рис. 4, при движении колесной пары подвижного состава грунт уплотняется колесами и выпучивается, образуя по бокам колеи и между колесами рыхлый валик. Величина валиков зависит от нагрузки на колесо и механических свойств грунта, в частности от угла внутреннего трения грунта.

Одним из эффективных и наиболее доступных способов увеличения площади пятна контакта колесного движителя с опорной поверхностью также является способ регулирования величины давления воздуха в шинах колес в пределах значений, допустимых заводом-изготовителем шин. Однако такой способ предполагает использование специальных средств автоматической регулировки давления воздуха в шинах.

Меры, о которых шла речь, относятся к уменьшению вредного воздействия ходовых систем транспортных средств на опорную поверхность. В свою очередь разрабатываются способы увеличения надежности и сроков эксплуатации опорных поверхностей дорожного полотна.

Исследования, проводимые с шиной Ф-82 (71×47-25) при нагрузке 5 кН, показали, что напряжение от воздействия движителя распространяется на глубину до полуметра. Таким образом, оно воздействует не только на верхний слой, но и на подстилающий его нижний. В верхнем слое происходит образование колеи (рис. 6), вызванное перемещением частиц грунта как по глубине, так и в стороны по ширине беговой дорожки шины.

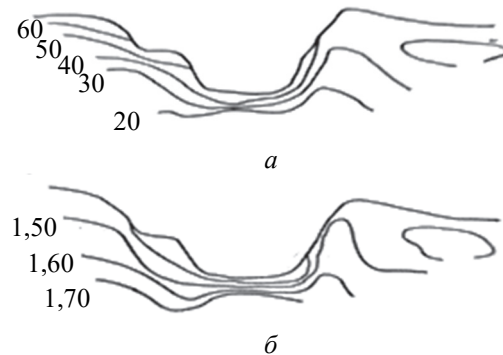


Рис. 6. Уплотнение грунта в колее:
а – перераспределение влажности грунта (в процентах);
б – изменение плотности (объемного веса) грунта

Процесс уплотнения грунта сопровождается перераспределением влажности в колее [9–12]. На дне и несколько ниже дна (рис. 6, а) влажность грунта значительно меньше, чем на поверхности дороги. Соответственно и наибольшее уплотнение (рис. 6, б), характеризуемое объемным весом грунта, наблюдается на некоторой глубине от дна колеи, так как непосредственно на дне колеи частицы грунта испытывают еще и разрыхляющее действие касательных сил, затухающих на незначительной глубине.

Величина бокового смещения грунта зависит при прочих равных условиях от ширины колеса [13, 14]. В нижнем подстилающем слое напряжения распространяются на значительно большие объемы грунта, в результате чего происходит его выпирание к краям дороги и как следствие вызывает проседание дорожного полотна [15].

Как было отмечено ранее, при движении на автомобильное колесо действует сложная система сил и моментов, обусловленная не только влиянием внешней среды, но и факторами, воздействующими со стороны механизмов автомобиля. В силу эластичных свойств шин при взаимодействии с опорной поверхностью происходит ее деформация в различных направлениях. В то же время опорная поверхность деформируется, и в зависимости от ее прочности на ней могут образовываться различного вида колеи (рис. 7).

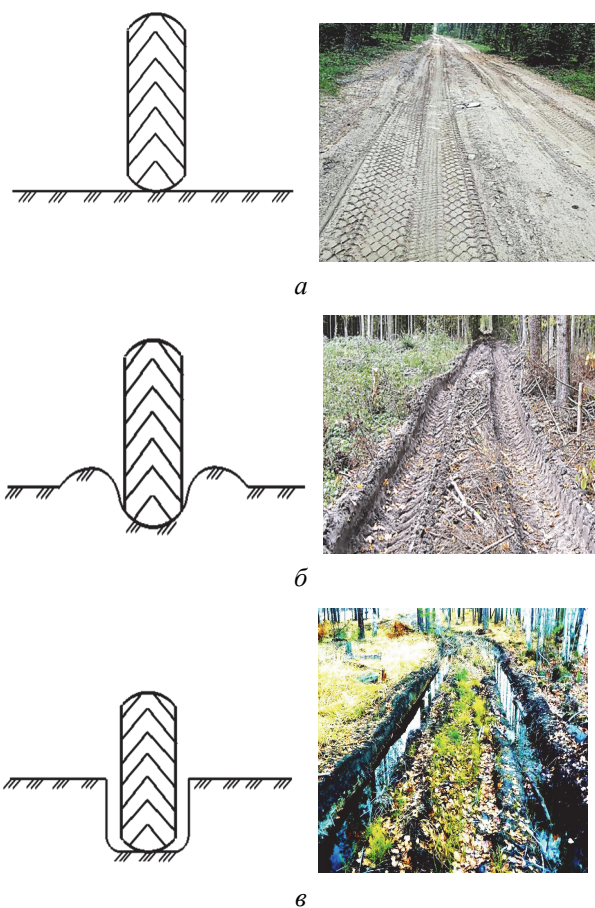


Рис. 7. Варианты образования колеи в зависимости от прочности грунта опорной поверхности:
 а – грунт уплотнен при оптимальной влажности;
 б – переувлажненный грунт;
 в – грунт с низкой несущей способностью

При взаимодействии шины и грунта выделяют следующие модели движения колеса (рис. 8):

- деформируемое колесо по недеформируемой поверхности, когда деформация грунтов много раз меньше деформации колеса (модель применима при качении колеса по асфальтовым и бетонным дорогам);
- недеформируемое колесо по деформируемой поверхности, когда деформация грунта значительно превышает деформацию шины (характерно при движении по рыхлому снегу или сыпучему песку, по болотистой местности);
- деформируемое колесо по деформируемой поверхности. Учитывать одновременную деформацию колеса и дороги необходимо в том случае, если величина этих деформаций соизмерима.

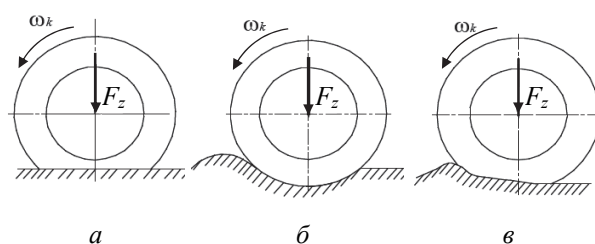


Рис. 8. Модели движения колеса по опорной поверхности дороги:
 а – деформируемое колесо по недеформируемой дороге; б – недеформируемое колесо по деформируемой дороге; в – деформируемое колесо по деформируемой дороге

Приведенные модели достаточно полно отображают взаимодействие колес автотранспортных средств с поверхностью их контакта.

Закключение. На основании вышесказанного можно констатировать, что существующие условия движения по автомобильным дорогам общего пользования и лесохозяйственным дорогам с песчано-гравийными, гравийными, щебеночными покрытиями и особенно по подъездным путям к лесохозяйственным магистралям не позволяют в полной мере осуществлять грузовые перевозки.

Проведенные научные исследования позволяют определить порядок действия сил при воздействии колесной нагрузки на дорожное полотно и составить более детальные схемы для проведения дальнейших расчетов.

Новые подходы к учету взаимодействия «колеса с дорогой» являются основой для разработки конструктивных решений по модификации подвижного состава и конструкций лесных дорог, способных эффективно решать в производственных условиях транспортные задачи на лесных территориях.

Список литературы

1. Скойбеда А. Т. Автоматизация ходовых систем колесных машин. Минск: Наука и техника, 1979. 277 с.
2. Бочаров Н. Ф. Транспортные средства на эластичных движителях. М.: Машиностроение, 1974. 208 с.

3. Маркина А. А., Давыдова В. В. Теория движения колесных машин. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2021. 216 с.
4. Сазонов И. С., Ким В. А., Ки Йонг Чой. Теория автомобиля. Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2017. 164 с.
5. Кишинский М. И. Эксплуатация и ремонт лесовозных дорог. М.: Гослесбумиздат, 1954. 326 с.
6. Насковец М. Т. Транспортное освоение лесов Беларуси и компоненты лесотранспорта. Минск: БГТУ, 2010. 178 с.
7. Бабаков В. Ф., Безрук В. М. Основы грунтоведения и механики грунтов. М.: Высш. шк., 1986. 239 с.
8. Сухопутный транспорт леса / В. И. Алябьев [и др.]. Минск: Лесная пром-сть, 1990. 416 с.
9. Леонович И. И., Вyrко Н. П. Механика земляного полотна. Минск: Наука и техника, 1975. 232 с.
10. Леонович И. И. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог / под общ. ред. И. И. Леоновича. Минск: БГТУ, 2015. 285 с.
11. Леонович И. И. Автомобильные лесовозные дороги. Минск: Высш. шк., 1965. 396 с.
12. Бабаскин Ю. Г. Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна. Минск: ИНФРА-М, 2013. 462 с.
13. Бабков В. Ф. Напряжения в грунтовых основаниях дорожных одежд // Труды ДорНИИ. 1941. Вып. 3. С. 99–196.
14. Орда А. Н. Исследование механики колеобразования и уплотнения почвы колесными движителями и обоснование требований к многоосным ходовым системам: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1978. 16 с.
15. Хархута Н. Я., Васильев Ю. М. Деформация грунтов дорожных насыпей. М.: Автотрансиздат, 1957. 71 с.

References

1. Skoybeda A. T. *Avtomatizatsiya khodovykh sistem kolesnykh mashin* [Automation of running systems of wheeled vehicles]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1979. 277 p. (In Russian).
2. Bocharov N. F. *Transportnyye sredstva na elastichnykh dvizhitelyakh* [Vehicles with elastic propellers]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1974. 208 p. (In Russian).
3. Markina A. A., Davydova V. V. *Teoriya dvizheniya kolesnykh mashin* [Theory of the movement of wheeled vehicles]. Ekaterinburg, Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta Publ., 2021. 216 p. (In Russian).
4. Sazonov I. S., Kim V. A., Ki Jong Choj. *Teoriya avtomobilya* [Car theory]. Mogilev, Belorusko-Rosiyskiy universitet Publ., 2017. 164 p. (In Russian).
5. Kishinskiy M. I. *Ekspluatatsiya i remont lesovoznykh dorog* [Operation and repair of logging roads]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1954. 326 p. (In Russian).
6. Naskovets M. T. *Transportnoye osvoyeniye lesov Belarusi i komponenty lesotransporta* [Transport development of forests of Belarus and components of forest transport]. Minsk, BSTU Publ., 2010. 178 p. (In Russian).
7. Babakov V. F., Bezruk V. M. *Osnovy gruntovedeniya i mekhaniki gruntov* [Fundamentals of soil science and soil mechanics]. Moscow, Vyshaya shkola Publ., 1986. 239 p. (In Russian).
8. Alyabyev V. I., Ilyin B. A., Kuvaldin B. I., Grekhov G. F. *Sukhoputnyy transport lesa* [Land transport of forests]. Minsk, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 416 p. (In Russian).
9. Leonovich I. I., Vyrko N. P. *Mekhanika zemlyanogo polotna* [Mechanics of the roadbed]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1975. 232 p. (In Russian).
10. Leonovich I. I. *Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog* [Water-thermal regime of the roadbed]. Minsk, BSTU Publ., 2015. 285 p. (In Russian).
11. Leonovich I. I. *Avtomobil'nyye lesovoznyye dorogi* [Automobile logging roads]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1965. 396 p. (In Russian).
12. Babaskin Yu. G. *Dorozhnoye gruntovedeniye i mekhanika zemlyanogo polotna* [Road soil science and mechanics of the roadbed]. Minsk, INFRA-M Publ., 2013. 462 p. (In Russian).
13. Babkov V. F. Stresses in soil foundations of pavements. *Trudy DorNII* [Proceedings of Road Research Institute], 1941, issue 3, pp. 99–196 (In Russian).
14. Orda A. N. *Issledovaniye mekhaniki koleyebrazovaniya i uplotneniya pochvy kolesnymi dvizhitelyami i obosnovaniye trebovaniy k mnogoosnym khodovym sistemam. Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Study of the mechanics of rutting and soil compaction by wheel movers and justification of safety for multi-axle running systems. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. Minsk, 1978. 16 p. (In Russian).
15. Harhuta N. Ya., Vasil'ev Yu. M. *Deformatsiya gruntov dorozhnykh nasypey* [Soil deformation of road embankments]. Moscow, Avtotransizdat Publ., 1957. 71 p. (In Russian).

Информация об авторах

Насковец Михаил Трофимович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: naskovets@belstu.by

Ким Юрий Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики машиностроительного профиля. Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, ул. Я. Коласа, 12, Республика Беларусь). E-mail: igmp_atf@bntu.by

Жлобич Павел Николаевич – инженер кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: pashkzhlobich@gmail.by

Тявловская Тереза Михайловна – старший преподаватель кафедры инженерной графики машиностроительного профиля. Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, ул. Я. Коласа, 12, Республика Беларусь). E-mail: igmp_atf@bntu.by

Щербакова Ольга Константиновна – старший преподаватель кафедры инженерной графики машиностроительного профиля. Белорусский национальный технический университет (220013, г. Минск, ул. Я. Коласа, 12, Республика Беларусь). E-mail: igmp_atf@bntu.by

Information about the authors

Naskovets Mikhail Trofimovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: naskovets@belstu.by

Kim Yuriy Alekseevich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Engineering Graphics for Machine-Building. Belarusian National Technical University (12, Kolasa str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: igmp_atf@bntu.by

Zhlobich Pavel Nikolaevich – engineer, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: pashkzhlobich@gmail.by

Tyavlovskaya Tereza Mihaylovna – Senior Lecturer, the Department of Engineering Graphics for Machine-Building. Belarusian National Technical University (12, Kolasa str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: igmp_atf@bntu.by

Shcherbakova Olga Konstantinovna – Senior Lecturer, the Department of Engineering Graphics for Machine-Building. Belarusian National Technical University (12, Kolasa str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: igmp_atf@bntu.by

Поступила 18.10.2023