

УДК 629.032

Ю. А. Ким¹, М. Т. Насковец², Н. И. Жарков², В. И. Гиль²¹Белорусский национальный технический университет²Белорусский государственный технологический университет**ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕЛИЧИН ДАВЛЕНИЯ В ПЯТНЕ КОНТАКТА
КРУПНОГАБАРИТНОЙ ШИНЫ С ДЕФОРМИРУЕМОЙ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

Рассматривается вопрос о проходимости транспортных средств лесного и сельскохозяйственного назначения на различных видах почвогрунтов. Чрезмерное уплотнение и повреждение структуры почвы приводит к образованию глыб, ухудшению водного и воздушного режимов, что отрицательно влияет на рост и развитие растительности. Кроме того, в результате движения пневмоколесной техники происходит ее повреждение.

Существует множество способов снижения величины давления в пятне контакта. Это сдвигание колес, увеличение их размеров, применение пневмогусеничного хода, изменение давления воздуха в шинах и т. д. Эти способы имеют отрицательные стороны.

Приводятся результаты исследования контактного давления крупногабаритной шины на различные грунтовые поверхности, при разных значениях давления воздуха и нагрузки на колесо. Исследования, проведенные на трех различных опорных поверхностях (рыхлый торфяник влажностью 65–70%, пахота влажностью 15–20%, многолетние травы влажностью 50–53%) при нагрузках на колесо G 34 кН, 50 кН, 65 кН, показали, что распределение давления по поверхности контакта зависит от конструкции шины, формы почвозацепов, давления воздуха в них, физико-механических свойств почвы, нагрузки на колесо.

Наиболее эффективным способом повышения проходимости транспортного средства является применение крупногабаритных шин-пневмокатков с использованием систем автоматического регулирования давления воздуха.

Ключевые слова: колесный движитель, грунтовое основание, пятно контакта колеса, почвозацепы.

Для цитирования: Ким Ю. А., Насковец М. Т., Жарков Н. И., Гиль В. И. Исследования величин давления в пятне контакта крупногабаритной шины с деформируемой опорной поверхностью // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 1 (252). С. 143–148.

Yu. A. Kim¹, M. T. Naskovets², N. I. Zharkov², V. I. Gil²¹Belarusian National Technical University²Belarusian State Technological University**RESEARCH OF PRESSURE VALUES IN THE SPOT OF CONTACT
OF A LARGE-SIZED TIRE WITH A DEFORMABLE SUPPORT SURFACE**

The issue of passability of vehicles for forestry and agricultural purposes on various types of soil is considered. Excessive compaction and damage to the structure of the soil leads to the formation of lumps, deterioration of water and air regimes, which negatively affects the growth and development of vegetation. In addition, as a result of the movement of pneumatic vehicles, damage to vegetation occurs.

There are many ways to reduce the amount of pressure at the contact patch. This is the doubling of wheels, an increase in their size, the use of a pneumatic track, a change in the air pressure in tires, etc. These ways have negative sides.

The results of a study of the contact pressure of a large-sized tire, on various soil surfaces, at various values of air pressure and wheel load, are presented. Studies carried out on three different supporting surfaces (loose peat with a moisture content of 65–70%, plowing with a moisture content of 15–20%, perennial grasses with a moisture content of 50–53%), with loads on a wheel G 34 kN, 50 kN, 65 kN showed that the distribution pressure on the contact surface depends on the design of the tire, the shape of the stars, the air pressure in them, the physical and mechanical properties of the soil, the load on the wheel.

The most effective way to increase the cross-country ability of a vehicle is to use large-size pneumatic tires using automatic air pressure control systems.

Key words: wheel mover, soil base, wheel contact patch, pegs.

For citation: Kim Yu. A., Naskovets M. T., Zharkov N. I., Gil V. I. Research of pressure values in the spot of contact of a large-sized tire with a deformable support surface. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2022, no. 1 (252), pp. 143–148 (In Russian).

Введение. Вопрос проходимости лесных транспортных средств и сельхозтехники возник давно и не потерял своей актуальности до сих пор. Впервые понятие «агротехническая проходимость» для оценки ходовых систем лесной техники и сельхозмашин с позиции повреждения растений и уплотняющего воздействия на почвогрунт, плодородия и урожайности было введено профессором Кононовым А. М. [1]. Чрезмерное уплотнение и повреждение структуры почвы прямо влияет на урожайность [2]. Происходит образование глыб, ухудшение водного и воздушного режимов [3], что отрицательно влияет на рост и развитие растительности. Это же происходит в результате повреждения растительности из-за прохода лесных и сельскохозяйственных машин. Отрицательный эффект вредоносного воздействия двигателей отмечают и зарубежные исследователи [4]. Таким образом, *целью данной работы* является оценка величины давления крупногабаритных шин лесной и сельскохозяйственной техники на различные виды деформируемой поверхности и рекомендации по повышению их проходимости.

Основная часть. Для оценки проходимости используются такие показатели, как среднее давление $P_{zz\text{ ср.}}$ и максимальное (фактическое) давление на опорную поверхность $P_{zz\text{ max.}}$. Величина среднего давления легко определяется в результате деления величины нагрузки на колесо на площадь пятна контакта. Но, как показали исследования [5–7], на размеры образующейся колеи в большей мере влияет величина максимального давления $P_{zz\text{ max.}}$. Существует множество способов снижения величины давления в пятне контакта. Это сдваивание колес, увеличение их размеров, применение пневмогусеничного хода, изменение давления воздуха в шинах и т. д. Однако эти способы имеют отрицательные стороны. Сдваивание колес увеличивает сопротивление движению при повороте, применение пневмогусениц при повороте приводит к срыву верхнего слоя почвы. Одним из способов снижения контактного напряжения P_{zz} , исключая вышеназванные негативные явления, является применение крупногабаритных шин низкого давления. В статье приводятся результаты исследования контактного давления крупногабаритной шины Ф-82 на различные грунтовые поверхности при различных значениях давления воздуха и нагрузки на колесо. Исследования [8] показали, что распределение давления по поверхности контакта зависит от конструкции шины, формы почвозацепов, давления воздуха в них, физико-механических свойств почвы, нагрузки на колесо. Для шин низкого давления на плотной почве обосновывается прямоугольный закон распределения, а на рыхлой – трапецидальный. Для шин высокого давления на рыхлой почве распределение

давления происходит по закону равнобедренного треугольника. Зарубежные исследователи [9] обосновывают параболический закон распределения давлений для пневматического колеса. Для твердого сухого грунта давление по площади контакта, имеющей форму круга, распределяется по следующей зависимости:

$$q = q_{\text{max}} \left(1 - \frac{r_x^{16}}{r_k^{16}}\right),$$

где q_{max} – максимальное давление в центре площади контакта, Па; r_x – радиус-вектор точки определяемого давления, м; r_k – радиус опорной поверхности, м.

На рис. 1–3 представлены эпюры P_{zz} в контакте под шиной модели Ф-82 по ширине колеса.

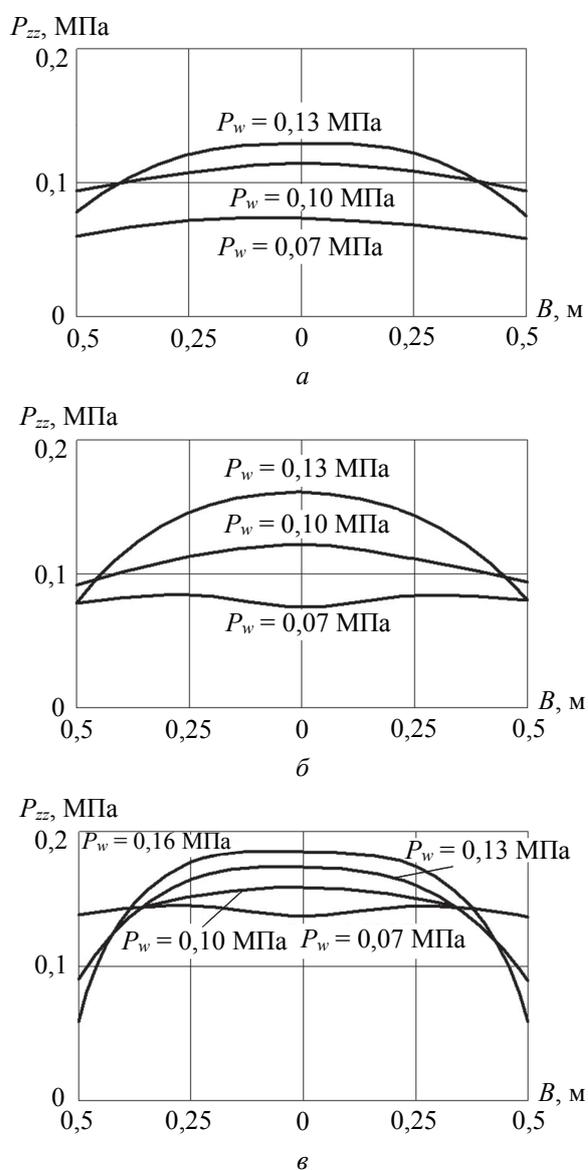


Рис. 1. Эпюры давлений под почвозацепами шины мод. Ф-82 по ширине контакта $G = 34$ кН: а – рыхлый торфяник; б – пахота; в – торфяник с многолетними травами

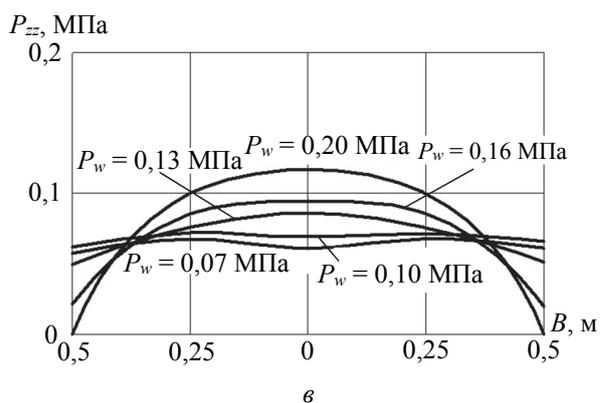
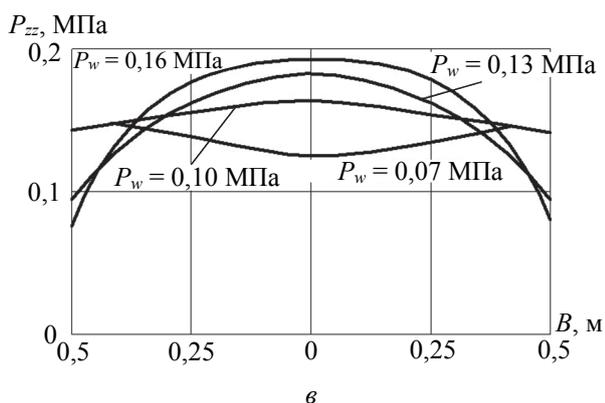
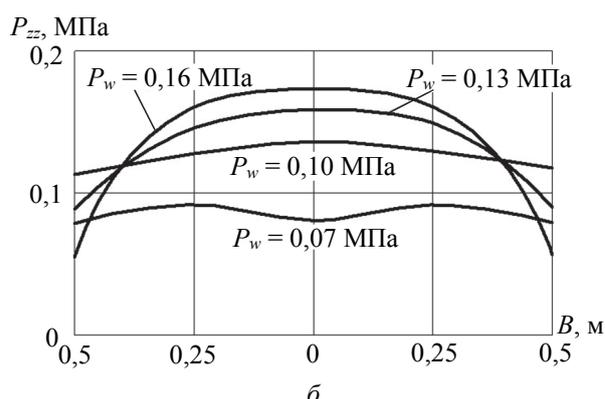
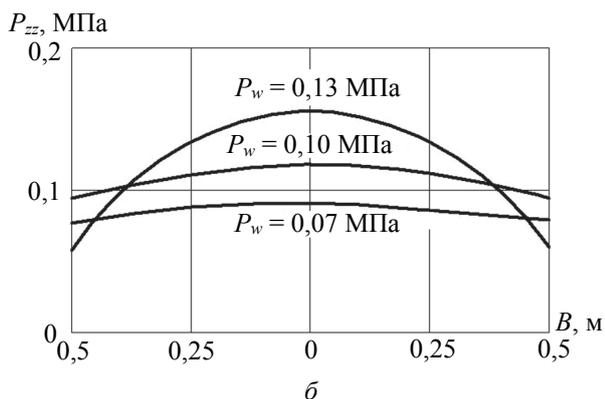
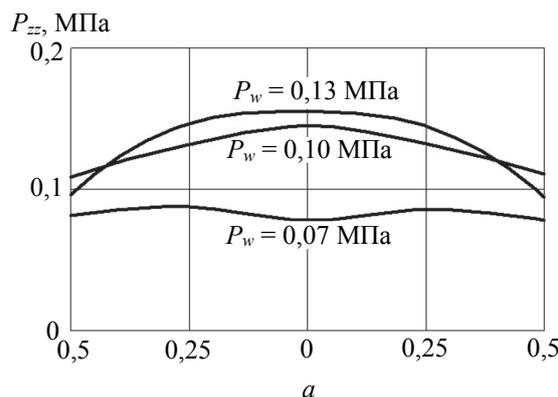
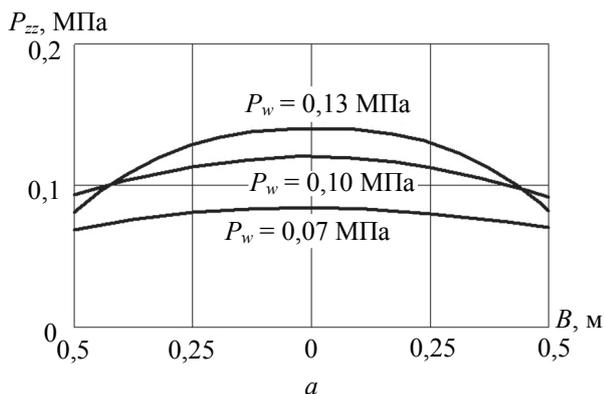


Рис. 2. Эпюры давлений под почвозацепами шины мод. Ф-82 по ширине контакта $G = 50$ кН:
 а – рыхлый торфяник; б – пахота;
 в – торфяник с многолетними травами

Рис. 3. Эпюры давлений под почвозацепами шины мод. Ф-82 по ширине контакта $G = 65$ кН:
 а – рыхлый торфяник; б – пахота;
 в – торфяник с многолетними травами

Очевидно, что во всем диапазоне изменения нагрузки G на всех исследуемых опорных поверхностях изменение давления воздуха в шинах P_w приводит к изменению величины P_{zz} и одновременно изменяет характер его распределения. В поперечной плоскости величина P_{zz} уменьшается в середине беговой дорожки и отсительно возрастает по краям.

Однако чрезмерное снижение P_w нежелательно, так как деформация шины может превысить допустимую величину. Так, например, при $P_w = 0,07$ МПа и $G = 65$ кН на боковинах шины образуются складки, что вызывает повышенный износ и резко увеличивает гистерезисные потери энергии при качении.

На величину $P_{zz \max}$ оказывает влияние состояние опорной поверхности. На рыхлом торфянике ($W = 65\text{--}70\%$) увеличение свыше 0,11; 0,12 и 0,15 МПа при G , соответственно, равной 35; 50; 65 кН, не вызывает увеличения $P_{zz \max}$, так как форма и размеры пневматической шины практически не изменяются. То есть пневматическое колесо ведет себя как жесткое. На пашне ($W = 15\text{--}20\%$) аналогичная картина представляется при увеличении P_w свыше 0,12; 0,135; 0,16 МПа при тех же значениях G . На многолетних травах торфяников ($W = 50\text{--}53\%$) соответственно 0,13; 0,15; 0,18 МПа. Однако, если в первых двух случаях величины P_{zz} равны в одних и тех же местах шины под почвозацепами и между ними, то

в последнем наблюдается существенное отличие. На рис. 4 представлены эпюры распределения P_{zz} по ширине пятна контакта под почвозацепами и вне их на торфянике с многолетними травами.

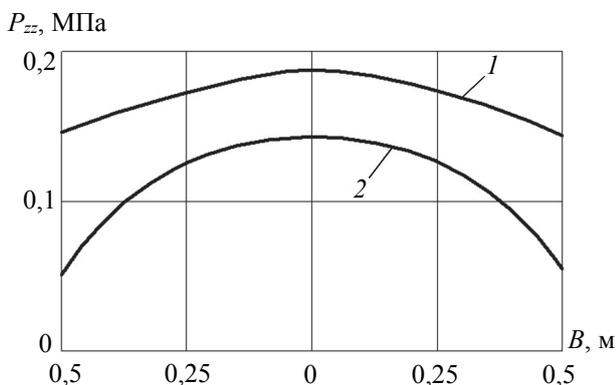


Рис. 4. Экспериментальные эпюры давлений P_{zz} по ширине пятна контакта шины мод. Ф-82 на торфянике с многолетними травами ($W = 50-53\%$), $G = 65$ кН, $P_w 0,13$ МПа: 1 – под почвозацепами; 2 – вне почвозацепов

Почвозацепы высотой 0,05 м, которыми снабжены шины, концентрируют напряжения в контакте. Так, при движении по многолетним травам на торфянике при погружении колеса на глубину 0,08 м (рис. 4) величина давления под почвозацепами на 20% выше, чем вне их. Уменьшение высоты почвозацепов позволит выровнять эпюру давлений, что приведет к снижению вредного воздействия движителя на почву, однако при этом могут снизиться тяговые качества. Существует мнение специалистов по эксплуатации гусеничной техники, что высота зацепов и другие параметры рисунка протектора практически не влияют на реализацию движителем тягового усилия. Это обосновывается тем, что протектор забивается и колесо работает как гладкое.

Полностью с этим согласиться нельзя, поскольку меры, принимаемые для «самоочищаемости»

протектора позволяют включить почвозацепы в работу. В. Ф. Бабков, Н. А. Алексейчик [10, 11] указывают, что высокие и расположенные редко зацепы протектора достигают твердого подстилающего основания, пронзая верхние слабые слои обеспечивают при этом достаточное сцепление.

Однако при чрезмерном увеличении высоты зацепов появляется вероятность их неполного заглубления в почву, при этом будет отсутствовать давление под опорными поверхностями впадин, что повлечет за собой уменьшение силы тяги [12]. Кроме того, при этом повышается радиальная жесткость шины [13].

Таким образом, комплекс требований, предъявляемых к шинам высокой проходимости, обширен и порой противоречив. Так, например требование снижения уплотняющего воздействия почвы, часто противоречит требованию повышения сцепных качеств [14].

Поэтому при выборе высоты почвозацепов необходимо компромиссное решение. Б. М. Бражник [15] на основании экспериментально-теоретических исследований сцепных качеств шин высокой проходимости рекомендует высоту зацепов не более 0,03 м.

Заключение. Таким образом, проведенные на трех различных опорных поверхностях (рыхлый торфяник влажностью 65–70%, пахота влажностью 15–20%, многолетние травы влажностью 50–53%) при нагрузках на колесо 34 кН, 50 кН, 65 кН исследования показали, что изменения нагрузки на всех исследуемых опорных поверхностях влечет за собой изменение величины и характера распределения P_{zz} . Снижение P_w приводит к снижению $P_{zz \max}$ и одновременно изменяет характер его распределения. Одним из наиболее эффективных способов повышения проходимости транспортного средства является применение крупногабаритных шин-пневмокатков с использованием систем автоматического регулирования давления воздуха.

Список литературы

1. Кононов А. М. Исследования реализации тягово-сцепных качеств агротехнической проходимости колесных тракторов на суглинистых почвах Беларуси: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. Горки, 1974. 41 с.
2. Гапоненко В. С. О путях снижения уплотняющего воздействия машинно-тракторных агрегатов на почву // Влияние сельскохозяйственной техники на почву. 1981. С. 56–61.
3. Бабков В. Ф., Безрук В. М. Основы грунтоведения и механика грунтов. М.: Высш. шк., 1976. 325 с.
4. Домингес Г. М. Совершенствование технологии уборки и транспортировки сахарного тростника на основе снижения воздействия колес на почву и методы его оценки на почву и урожай: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Воронеж; 1983. 14 с.
5. Ксеневиц И. П., Скотников В. А., Ляско М. И. Ходовая система – почва – урожай. М.: Агропромиздат, 1985. 304 с.
6. Ляско М. И. Уплотняющее воздействие сельскохозяйственных тракторов и машин на почву и методы ее оценки // Тракторы и сельхозмашины. 1982. № 10. С. 7–11.
7. Золотаревская Д. И. Зависимость между сжимающими напряжениями и осадкой почв // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1980. № 2. С. 30–32.

8. Бондарев А. Г. Изменение физических свойств и плодородия почв Нечерноземья под воздействием ходовых систем // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1983. № 5. С. 8–10.

9. Soehne W. Fundamentals of Pressure Distribution and soil compaction under tractor tires // *Agricultural Engineering*. 1958. № 52. P. 281.

10. Бобков В. Ф., Бируля А. К., Сиденко В. М. Проходимость колесных машин по грунту. М.: Автотрансиздат, 1959. 181 с.

11. Алексейчик Н. А., Будько Ю. В., Терехов Б. А. Повышение проходимости сельскохозяйственных машин. Минск: Урожай, 1979. 139 с.

12. Соколова, В. А. Петров И. П. Исследование взаимодействия арочного колеса с опорной поверхностью // Труды НАМИ. 1962. Вып. 54. С. 64–72.

13. Ким Ю. А., Опейко С. Ф. Теоретическое определение напряжений в области контакта жесткого колеса с деформируемым грунтом // Автотракторостроение. Вып. 17. Теория и конструирование мобильных машин. Минск: Выш. шк., 1982 С. 68–70.

14. Уменьшение отрицательного воздействия мобильных агрегатов на почву / И. С. Рабочев [и др.] // Вестник сельскохозяйственной науки. 1979. № 4. С. 90–94.

15. Бражник Б. М. Исследование влияния рисунка протектора шин с регулируемым давлением на сцепление с грунтом: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1974. 20 с.

References

1. Kononov A. M. *Issledovaniya realizatsii tyagovo-stsepnnykh kachestv agrotekhnicheskoy prokhodimosti traktorov na suglinistykh pochvakh Belarusi* [Investigation of the realization of traction-coupling qualities and agrotechnical patency of wheeled tractors on loamy soils in Belarus]. Abstract of thesis DSc (Engineering). Gorki, 1974. 41 p. (In Russian).

2. Gaponenko V. S. On ways to reduce the sealing effect of machine-tractor aggregates on the soil. *Vliyaniye sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na pochvu* [Influence of agricultural machinery on soil], 1981, pp. 56–61 (In Russian).

3. Babkov V. F., Bezruk V. M. *Osnovy gruntovedeniya i mekhanika gruntov* [Fundamentals of soil science and soil mechanics]. Moscow, Vyshaya shkola Publ., 1976. 325 p. (In Russian).

4. Dominges G. M. *Sovershenstvovaniye tekhnologii uborki i transportirovki sakharnogo trostnika na osnove snizheniya vozdeystviya koles na pochvu i metody yego otsenki na pochvu i urozhay. Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Improving the technology of harvesting and transporting sugar cane based on reducing the impact of wheels on the soil and methods of assessing it on the soil and yield. Abstract of thesis PhD (Agriculture)]. Voronezh, 1983. 14 p. (In Russian).

5. Ksenevich I. P., Skotnikov V. A., Lyasko M. I. *Khodovaya sistema – pochva – urozhay* [Running system – soil – harvest]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 304 p. (In Russian).

6. Lyasko M. I. The compacting effect of agricultural tractors and machines on the soil and methods for its assessment. *Taktory i sel'khoz mashiny* [Tractors and agricultural machinery], 1982, no. 10, pp. 7–11 (In Russian).

7. Zolotarevskaya D. I. The relationship between compressive stresses and soil settlement. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* [Mechanization and electrification of agriculture], 1980, no 2, pp. 30–32 (In Russian).

8. Bondarev A. G. Changes in the physical properties and fertility of soils in the Non-Black Earth Region under the influence of running systems. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* [Mechanization and electrification of agriculture], 1983, no 5, pp. 8–10 (In Russian).

9. Soehne W. Fundamentals of Pressure Distribution and soil compaction under tractor tires. *Agricultural Engineering*, 1958, no. 52, p. 281.

10. Bobkov V. F., Birulya A. K., Sidenko V. M. *Prokhodimost' kolesnykh mashin po gruntu* [Ground cross-country ability of wheeled vehicles]. Moscow, Avtotransizdat Publ., 1959. 181 p. (In Russian).

11. Alekseychik N. A., Budko Yu. V., Terekhov B. A. Increase in cross-country ability of agricultural machines. *Povysheniye prokhodimosti sel'skokhozyaystvennykh mashin* [Increase in cross-country ability of agricultural machines]. Minsk, Urozhay Publ., 1979. 139 p. (In Russian).

12. Sokolova, V. A., Petrov I. P. Study of the interaction of an arched wheel with a supporting surface. *Tudy NAMI* [Proceeding of NAMI], 1962, issue 54, pp. 64–72 (In Russian).

13. Kim Y. A., Opeyko S. F. Theoretical determination of stresses in the area of contact of a rigid wheel with deformable soil. *Avtotraktorostroyeniye. Vyp. 17. Teoriya i konstruirovaniye mobil'nykh mashin* [Auto-tractor construction. Issue 17. Theory and design of mobile machines]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1982, pp. 68–70 (In Russian).

14. Rabochev I. S. Reduction of the negative impact of mobile aggregates on soil. *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bulletin of Agricultural Science], 1979. no. 4, pp. 90–94 (In Russian).

15. Brazhnik B. M. *Issledovaniye vliyaniya risunka protektora shin s reguliruyemym davleniyem na stsepleniye s gruntom. Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Investigation of the effect of the tread pattern of tires with adjustable pressure on traction. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. Moscow, 1974. 20 p. (In Russian).

Информация об авторах

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

Насковец Михаил Трофимович – кандидат технических наук, доцент, профессор 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

Жарков Николай Иванович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: zharkov@belstu.by

Гиль Виталий Иванович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v.gil@belstu.by

Information about the authors

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

Naskovets Mikhail Trofimovich – PhD (Engineering), Associate Professor, 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

Zharkov Nikolay Ivanovich – PhD (Engineering), Senior Researcher, 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: zharkov@belstu.by

Gil Vitaliy Ivanovich – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Engineering Graphics. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.gil@belstu.by

Поступила 20.09.2021