

ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

TIMBER PROCESSING COMPLEX. TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL QUESTIONS

УДК 630*377.4:625.711.84

М. Т. Насковец¹, Ю. А. Ким², В. Н. Штепа¹, Т. М. Тявловская², П. Н. Жлобич¹

¹Белорусский государственный технологический университет

²Белорусский национальный технический университет

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕСНЫХ КОЛЕСНЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ГРУНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОДЪЕЗДНЫХ ПУТЕЙ

В данной публикации рассмотрены некоторые аспекты негативного влияния колесных движителей при перемещении по грунтовым основаниям с низкой несущей способностью. Показано, что современные транспортно-технологические машины, оснащенные такими ходовыми системами, представляют собой большегрузные крупногабаритные технические средства повышенной проходимости, которые должны обеспечивать эффективную работу всех производственных процессов.

Проанализированы варианты взаимодействия различного вида колесных схем (такие как однокатные шины, спаренные колеса и колеса с низкопрофильными шинами) с грунтовой поверхностью. Это дало возможность сделать вывод о неравномерности горизонтального и вертикального смещения грунта в зоне пятна контакта колес, а также показало, каким образом распределяется удельное давление по глубине при воздействии разнопрофильных шин.

Кроме того, в статье исследованы способы снижения величины напряжений, возникающих в грунтовых массивах. Приведены основные их достоинства и недостатки, которые свидетельствуют о необходимости комплексного решения проблемы взаимодействия колесных систем с грунтовыми поверхностями. Проведенная оценка воздействия на грунт лесных колесных движителей в местах совместного контакта позволила выработать направления, способствующие увеличению работоспособности грунтовых оснований и дорог.

Ключевые слова: грунтовые основания, лесной колесный движитель, протекторы шин, воздействие колесной нагрузки, оценка работоспособности.

Для цитирования: М. Т. Насковец, Ю. А. Ким, В. Н. Штепа, Т. М. Тявловская, П. Н. Жлобич. Оценка влияния воздействия лесных колесных движителей на работоспособность грунтовых поверхностей подъездных путей // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 1 (288). С. 69–74.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-288-7.

M. T. Naskovets¹, Yu. A. Kim², V. N. Shtepa¹, T. M. Tyavlovskaya², P. N. Zhlobich¹

¹Belarusian State Technological University

²Belarusian National Technical University

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF FOREST WHEEL MOVERS ON THE OPERABILITY OF THE DIRT SURFACES OF ACCESS ROADS

The aspects of the negative impact of wheel movers when moving on unpaved bases with low load-bearing capacity are considered. It is shown that modern transport and technological machines equipped with such running systems are heavy-duty, large-sized cross-country vehicles that must ensure the efficient operation of production processes.

The variants of interaction of various types of wheel schemes (single-pitched tires, paired wheels and wheels with low-profile tires) with a dirt surface are analyzed. This allowed us to conclude that the

horizontal and vertical displacement of the soil in the area of the wheel contact spot is uneven, and also showed how the specific pressure is distributed over depth when exposed to multi-profile tires.

The methods of reducing the magnitude of stresses arising in soil massifs are investigated. Their main advantages and disadvantages are given, which indicate the need for a comprehensive solution to the problem of interaction of wheel systems with ground surfaces. The assessment of the impact of forest wheel thrusters on the ground in places of joint contact made it possible to develop directions for increasing the efficiency of soil foundations and roads.

Keywords: soil foundations, forest wheel mover, tire treads, impact of wheel loading, performance assessment.

For citation: M. T. Naskovets, Yu. A. Kim, V. N. Shtepa, T. M. Tyavlovskaya, P. N. Zhlobich. Assessment of the impact of forest wheel movers on the operability of the dirt surfaces of access roads. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry, Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 1 (288), pp. 69–74 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-288-7.

Введение. Рост механизации технологических процессов лесозаготовительного производства лесного комплекса, а также повышение интенсивности ведения сельского хозяйства в Республике Беларусь приводит к использованию для выполнения производственных задач транспортных средств повышенной мощности, что значительно увеличивает их грузоподъемность, а следовательно осевые нагрузки [1–3]. Такие большегрузные операционные машины (лесовозные автопоезда, форвардеры и агротехнические средства транспорта) негативно влияют на грунтовые основания (рис. 1) и требуют проведения оценки взаимодействия крупногабаритных автомобильных движителей с контактирующей грунтовой поверхностью транспортно-технологических путей [4, 5].



Рис. 1. Процесс образования колеи после проезда форвардера

Основная часть. Одной из основных функций транспортных средств высокой проходимости является обеспечение многократного проезда по грунтовым поверхностям (лесные грунтовые дороги и просеки либо сельскохозяйственные угодья), характеризующимся низкой несущей способностью. В данном случае процесс движения средств транспорта во многом зависит от применяемых на них автомобильных движителей, главным образом конструкции, количества и размерных параметров колес, давления воздуха в них и протектора шин.

Для повышения производительности, снижения повреждающего воздействия на опорную поверхность такого рода технологические машины становятся в большей степени грузоподъемными, что приводит к увеличению их массы и в конечном итоге возрастанию вертикальной нагрузки на колесо. В свою очередь, конструкции их колес имеют большие габариты и являются более деформируемыми. В отличие от колес с узкопрофильными шинами и спаренных колес, колеса с широкопрофильными шинами увеличивают площадь пятна контакта с опорной поверхностью, и снижают осадку и боковое смещение грунта (рис. 2) [6, 7].

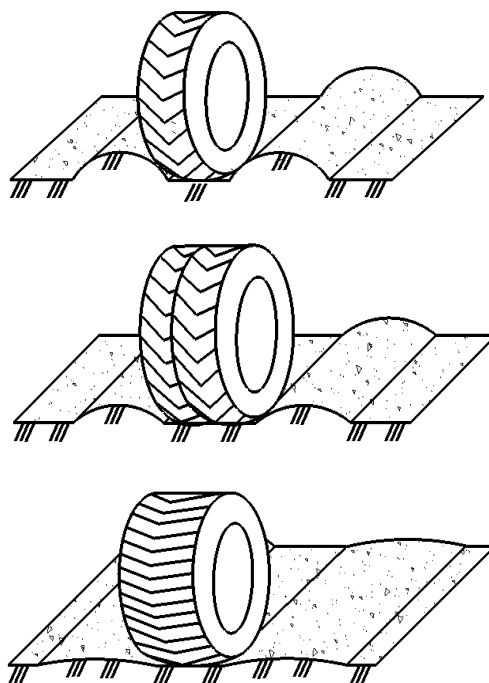


Рис. 2. Варианты воздействия односкатных и спаренных колес на грунтовую поверхность

Это также приводит к снижению напряжений по глубине грунтового массива (рис. 3).

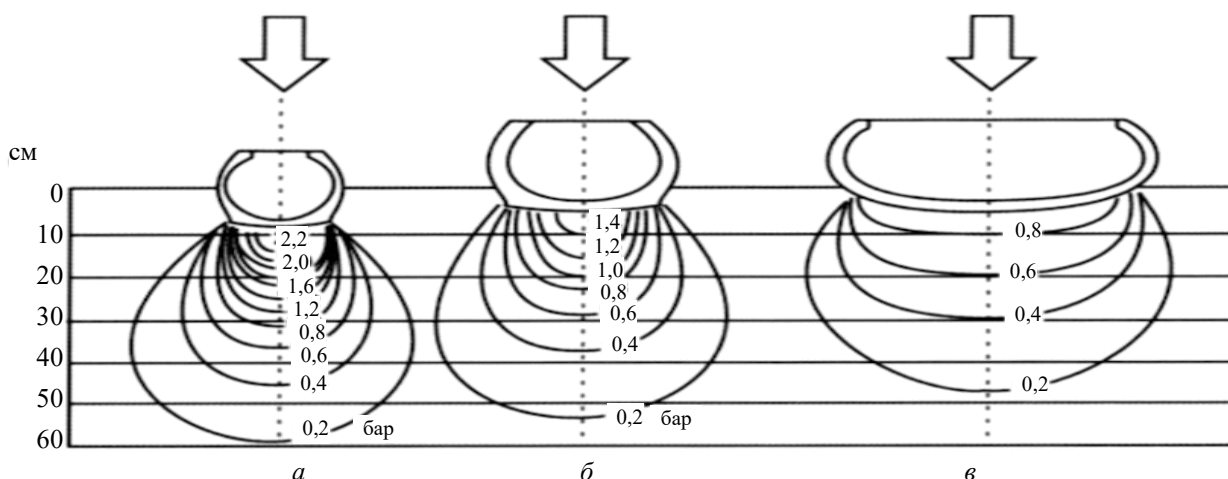


Рис. 3. Форма пятна контакта колес различной ширины с дорожным полотном:
а – узкие шины; б – стандартные шины; в – широкие шины

Однако снижение величины контактных напряжений при увеличении вертикальной нагрузки на колесо не решает проблему распространения луковичы напряжения в глубь грунтового массива. Более того, увеличение площади пятна контакта колеса с опорной поверхностью при усилении вертикальной нагрузки приводит к охвату больших объемов грунтового массива. А это отрицательно влияет на состояние и долговечность грунтовой дороги.

С целью понижения напряженности грунтового массива на машины устанавливаются дополнительные колеса, грунтозацепы либо гусеницы [8] или снижается давление в шинах [9], а также сепарируются слои грунта посредством укладки хвостистой выстилки, геомембран, пленок и т. д.

Использование средств, сепарирующих слои грунтового основания, в значительной степени снижает действие тангенциальных составляющих напряжения. Сложное напряженно-деформированное состояние грунтового массива, вызванное внешним воздействием, обусловлено влиянием как нормальных, так и касательных составляю-

щих. Это в целом снижает напряженность состояния и является положительным эффектом.

Способ снижения величины напряжений путем сдвигания колес является достаточно эффективным, но при этом имеет ряд отрицательных моментов. Во-первых, повышается сопротивление качению при повороте транспортного средства. Во-вторых, образующиеся луковичы напряжения, возникающие от рядом расположенных колес пересекаются, и в этой зоне возникает интегрирование напряжения. Кроме того, сдвоенные колеса способствуют более интенсивному колееобразованию в сравнении с одиночным пневмокатком равной грузоподъемности.

Одним из наиболее доступных и эффективных путей снижения контактных напряжений является регулирование внутреннего давления воздуха в шинах (рис. 4).

Но здесь существуют проблемы. Так, для активного колеса при значительном понижении величины давления воздуха в шине, появляется опасность проворота диска относительно шины, что приводит к разгерметизации колеса.

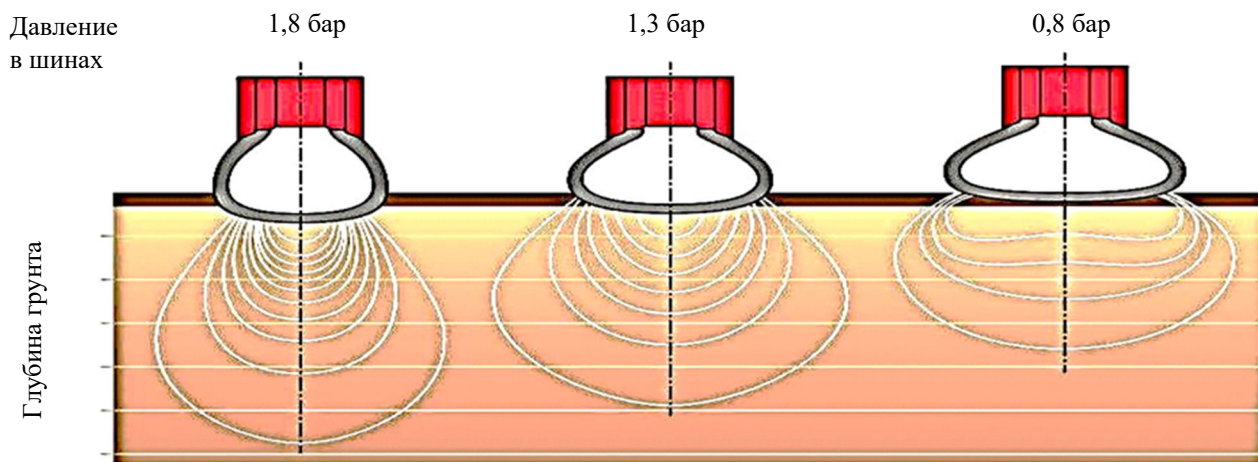


Рис. 4. Варианты эпюр снижения контактных напряжений в зависимости от давления воздуха в шинах

Для увеличения долговечности конструкций пневматических шин колес предусматривается протектор [10]. Назначение протектора также состоит в том, чтобы обеспечивать необходимую управляемость и силу тяги. Для ведомых управляемых колес это продольные реборды, а для ведущих – развитый рисунок протектора, обеспечивающий необходимую силу тяги. Чаще всего это протектор типа «елка» (рис. 5).

Такой рисунок обеспечивает условие самоочищения. Смысл такого рисунка протектора состоит в том, что небольшие по величине коэффициенты трения резина – грунт заменяются на значительно более высокие коэффициенты внутреннего трения грунта.



Рис. 5. Примеры протекторов пневматических шин «елка»:

а – односкатные; б – широкопрофильные

Для увеличения сцепных качеств колес с грунтом слабого основания применяют гусеницы либо грунтозацепы (рис. 6) [11].



Рис. 6. Форвардер, оборудованный гусеницами и грунтозацепами

Наличие гусениц в конструкциях технологических машин позволяет перераспределить воз-

действующую нагрузку от колес на большую площадь грунтового массива, увеличивая таким образом пятно контакта, а установка грунтозацепов дает возможность образовывать грунтовый кирпич и сдвигать грунт в направлении, противоположном движителю колеса. Как показывают исследования, максимальная касательная сила тяги, развиваемая колесным движителем, достигается при коэффициенте буксования, равном приблизительно 20% [12]. Высота и расстояние между грунтозацепами рассчитываются в зависимости от габаритов движителя и условий эксплуатации. Таким образом, активное колесо с протектором типа «елка», как бы вырабатывает поверхность грунтового покрытия дороги, что приводит к интенсивному колееобразованию. Кроме того, грунтозацепы создают под собой очаги концентрации напряжений с одновременным срезом грунта как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Скачкообразность нормальных напряжений сглаживается по мере их распространения в глубь грунтового массива.

В этом смысле использование сепарирующих средств значительно способствует сглаживанию массивов напряжений. Теоретически описать поверхность шины с грунтозацепами одним законом не представляется возможным, поэтому решения необходимо проводить приближенно. Таким образом, для увеличения срока эксплуатации грунтовых дорог необходим комплексный подход к этой проблеме [13–15]: это и снижение разрушающего воздействия ходовых систем, и повышение несущей способности дорожного покрытия. Решение данной задачи весьма сложно и трудоемко как теоретически, так и экспериментально, но наиболее эффективно.

Работоспособность колесных движителей лесных транспортных средств при перемещении по естественным грунтовым основаниям в значительной мере может быть повышена путем увеличения их опорной поверхности за счет укрепления грунтовой поверхности порубочными остатками, образующими хворостяную выстилку (рис. 7).



Рис. 7. Упрочнение поверхности грунтового основания хворостяной выстилкой

Наличие под колесами подушки из древесных остатков позволяет увеличить площадь опоры движителей, а также предотвратить прямой контакт протекторной части колеса с грунтом и его интенсивное смещение в горизонтальной и вертикальной плоскости. Такой эффект снижает и повреждающее воздействие колесных движителей.

Заключение. Проанализированы основные предпосылки взаимодействия движителей лесной

и сельскохозяйственной техники со слабыми грунтовыми основаниями. Это позволит в дальнейшем выработать направления совершенствования и расчета крупногабаритных большегрузных транспортных средств и условий их применения.

Оценка воздействия колесных движителей на основания подъездных путей со слабыми грунтами выявила их существенные недостатки и позволила предложить способы повышения их прочности и работоспособности.

Список литературы

1. Насковец М. Т. Транспортное освоение лесов Беларуси и компоненты лесотранспорта. Минск: БГТУ, 2010. 178 с.
2. Сухопутный транспорт леса / В. И. Алябьев [и др.]. Минск: Лесная пром-сть, 1990. 416 с.
3. Леонович И. И. Автомобильные лесовозные дороги. Минск: Выш. шк., 1965. 396 с.
4. Бабаскин Ю. Г. Дорожное грунтоведение и механика земляного полотна. Минск: ИНФРА-М, 2013. 462 с.
5. Бабаков В. Ф., Безрук В. М. Основы грунтоведения и механики грунтов. М.: Выш. шк., 1986. 239 с.
6. Кишинский М. И. Эксплуатация и ремонт лесовозных дорог. М.: Гослесбумиздат, 1954. 326 с.
7. Исследования величин давления в пятне контакта крупногабаритной шины с деформируемой опорной поверхностью / Ю. А. Ким [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 1 (252). С. 143–148.
8. Леонович И. И., Вyrko Н. П. Механика земляного полотна. Минск: Наука и техника, 1975. 232 с.
9. Влияние величины давления воздуха в шинах колес на геометрические параметры пятна контакта при взаимодействии с опорной поверхностью / Ю. А. Ким [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2018. № 2 (210). С. 308–312.
10. Касперович А. В., Шашок Ж. С., Мозгалев В. В. Технология производства шин. Минск: БГТУ, 2011. С. 147.
11. Маркина А. А., Давыдова В. В. Теория движения колесных машин. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2021. 216 с.
12. Гуськов В. В. Тракторы. Ч. II. Теория. Минск: Выш. шк., 1977. 384 с.
13. Скойбеда А. Т. Автоматизация ходовых систем колесных машин. Минск: Наука и техника, 1979. 277 с.
14. К вопросу взаимодействия колесного движителя с деформируемым основанием / Ю. А. Ким [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2019. № 1 (216). С. 196–200.
15. О повышении проходимости внедорожного колесного транспортного средства / Ю. А. Ким [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 1 (264). С. 98–103.

References

1. 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).
2. 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).
3. Leonovich I. I. *Avtomobil'nyye lesovoznyye dorogi* [Automobile logging roads]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1965. 396 p. (In Russian).
4. 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).
5. Babakov V. F., Bezruk V. M. *Osnovy gruntovedeniya i mekhaniki gruntov* [Fundamentals of soil science and soil mechanics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1986. 239 p. (In Russian).
6. Kishinskiy M. I. *Ekspluatatsiya i remont lesovoznykh dorog* [Operation and repair of logging roads]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1954. 326 p. (In Russian).
7. 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. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2022, no. 1 (252), pp. 143–148 (In Russian).
8. Leonovich I. I., Vyrko N. P. *Mekhanika zemlyanogo polotna* [Mechanics of the roadbed]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1975. 232 p. (In Russian).

9. Kim Yu. A., Bobrovich V. A., Voytekhovsky B. V., Isachenkov V. S. Impact of air pressure size in tire wheels on the geometric parameters of the spot of contact with interaction with support surface. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2018, no. 1 (210), pp. 308–312 (In Russian).
10. Kasperovich A. V., Shashok Zh. S., Mozgalev V. V. *Tekhnologiya proizvodstva shin* [Tire production technology]. Minsk, BSTU Publ., 2011. 147 p. (In Russian).
11. Markina A. A., Davydova V. V. *Teoriya dvizheniya kolesnykh mashin* [Theory of the movement of wheeled vehicles]. Ekaterinburg: Izdatl'stvo ural'skogo universiteta Publ., 2021. 216 p. (In Russian).
12. Gus'kov V. V. *Traktory. Chast' II. Teoriya* [Tractors. Part 2. Theory]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1977. 384 p. (In Russian).
13. 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).
14. Kim Yu. A., Bobrovich V. A., Voytekhovsky B. V., Isachenkov V. S. To the question of the interaction of the wheel propulsion with a deformable base. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 1 (216), pp. 196–200 (In Russian).
15. Kim Yu. A., Naskovets M. T., Voitekhovsky B. V., Sivitskaya D. D. About increasing the performance of off-road wheels vehicle. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2023, no. 1 (264), pp. 98–103 (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 (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: naskovets@belstu.by

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

Штепа Владимир Николаевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: tppoless@gmail.com

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

Жлобич Павел Николаевич – инженер кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: pashkazhlobich1@gmail.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 “Engineering Graphics for Machine-Building”. Belarusian National Technical University (12 Kolasa str., 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: igmp_atf@bntu.by

Shtepa Vladimir Nikolaevich – DSc (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Life Safety. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tppoless@gmail.com

Tyavlovskaya Tereza Mihaylovna – Senior Lecturer, the Department “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., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pashkazhlobich1@gmail.by

Поступила 20.10.2024