

**Экспериментально-теоретические исследования системы
«норма полива – почва – дождевальная машина»**

Лариса Анатольевна Журавлева¹, Ван Тхуан Нгуен²

^{1,2}ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия
nguyenthuan230593@gmail.com

Аннотация. Обеспечение производительной и надежной работы дождевальных машин при соблюдении эрозийно-безопасных технологий полива с учетом многократных проходов по увлажненным и переувлажненным почвам представляет собой сложную техническую проблему и требует решения комплекса научных и практических задач, базирующихся на исследованиях взаимосвязи системы «норма полива – почва – дождевальная машина». В статье рассмотрена модель взаимодействия колеса с почвой. Представлена зависимость глубины и ширины колеи от номера опорной тележки и от несущей способности. Проведенные исследования позволили определить ориентировочные зоны применения колесных систем в зависимости от несущей способности почвы.

Ключевые слова: норма полива, почва, дождевальная машина, глубина колеи, ширина колеи.

Для цитирования: Журавлева Л. А., Нгуен В. Т. Экспериментально-теоретические исследования системы «норма полива – почва – дождевальная машина» // Аграрный научный журнал. 2021. № 10. С. 103–107. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i10pp103-107>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

103

**Experimental and theoretical studies of the system
“irrigation rate – soil – sprinkling machine”**

Larisa A. Zhuravleva¹, Van Th. Nguyen²

^{1,2}Russian State Agrarian University – MSHA named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia, nguyenthuan230593@gmail.com

Abstract. To provide an efficient and reliable operation of sprinkler machines while observing erosion-safe irrigation technologies, you should take into account multiple passes on moist and waterlogged soil. It is a complicated technical problem requiring the solution of a set of scientific and practical problems based on studies of the relationship of the “irrigation rate – soil – sprinkler machine system. The article considers the wheel and soil interaction model. The dependence of the depth and track width on the number of the support bogie and on the bearing capacity is also shown. The research allowed us to determine the approximate zones of application of wheel systems depending on the bearing capacity of the soil.

Keywords: irrigation rate, soil, sprinkler machine, track depth, track width

For citation: Zhuravleva L. A., Nguyen V. Th. Experimental and theoretical studies of the system “irrigation rate – soil – sprinkling machine”. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2021;(10): 103–107 (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i10pp103-107>.

Введение. Важнейшими факторами конкурентоспособности современной широкозахватной дождевальной техники являются такие показатели как производительность и надежность работы, энергоемкость и экологическая безопасность процесса полива [4–15]. Работа, направленная на улучшение данных показателей, тесно связана с изучением системы «норма полива – почва – дождевальная машина».

Выращиваемая сельскохозяйственная культура определяет необходимую норму полива и режим ее внесения. По сути, определяет тот минимум воды, который необходим для роста и развития растения и меньше которого полив не целесообразен.

Второй элемент взаимосвязанной системы – почва, обладающая определенными характеристиками и определяющая достоковую норму. Величина достоковой нормы также является ограничением, только уже максимального значения поданной воды. Норма полива позволяет задать требуемый расход воды, необходимый диаметр трубопровода машины и соответственно вес всего водопроводящего пояса.

Почва в своем увлажненном состоянии определяет несущую способность, которая является определяющим критерием. Зная массу водопроводящего трубопровода и несущую способность почвы следует выбрать верное соотношение длины пролета и оптимальной ходовой системы.

Цель исследования – выявление закономерности колеообразования дождевальных машин по увлажненной почве на основе экспериментально-теоретических исследований системы «норма полива – почва – дождевальная машина».

Теоретические исследования.

Процесс взаимодействия колеса с почвой достаточно сложен, и зависит от многих параметров и факторов, которые можно разделить на две основные группы: регулируемые параметры и характеристики, зависящие от конструктивного исполнения машины, ее узлов; нерегулируемые параметры, характеризующие природно-климатические условия использования и эксплуатации дождевальных машин (ДМ).

Основными параметрами, характеризующими возможность перемещения машины, являются: удельное давление на почву, глубина и ширина колеи и сопротивление перекатыванию.

Важной характеристикой, влияющей на физико-механические характеристики почвы, является достоковая норма полива, определяемая следующей формулой, м³/га [1, 2]:

$$m_{\text{дост}} = 2850(1,14 - d^2) \cdot j_{\text{cp}}/j_1 K, \quad (1)$$

где d – средний диаметр капель, мм; j_{cp} – интенсивность дождя, мм/мин; j_1 – заданная интенсивность дождя,

АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

10
2021



мм/мин; K – коэффициент, учитывающий водопроницаемость почв ($K = 0,6 - 1,5$).

Несущую способность почвы после полива можно выразить следующим образом, кПа [1, 2]:

$$P_{\text{пп}} = P_{\text{дп}} - (1,4m_{\text{дост}}^{0,65} + 8 \cdot 1,01^{m_{\text{ст}}}), \quad (2)$$

где $P_{\text{пп}}$ – несущая способность почвы до полива, кПа; $m_{\text{ст}}$ – величина стока, м³/га.

Глубина колеи для двухколесной тележки определяется следующей формулой, м [3]:

$$H = 0,6M/(n_t 10^3 P_{\text{пп}} b_{\text{об}} \sqrt{D_{\text{k}}}), \quad (3)$$

где M – общая масса машины; n_t – количество тележек; $b_{\text{об}}$ – ширина обода; D_{k} – наружный диаметр колес, м.

Ширина колеи, м [3]:

$$B_{\text{k}} = \sqrt{(R_{\text{им}} + b_{\text{об}}/2)^2 + H(D_{\text{k}} - H)} - (R_{\text{им}} - b_{\text{об}}/2), \quad (4)$$

где $R_{\text{им}}$ – расстояние от основной опоры, м.

Глубина колеи для трехколесной тележки ДМ [3]:

$$H = 0,4M/(n_t 10^3 P_{\text{пп}} b_{\text{об}} \sqrt{D_{\text{k}}}). \quad (5)$$

Необходимо учитывать, что масса тележки с тремя колесами за счет большей длины и усиленной рамы составляет порядок $m_{\text{т3}} = (1,1 - 1,25)m_{\text{т2}}$.

На рис. 1 представлена модель взаимодействия колеса с почвой.

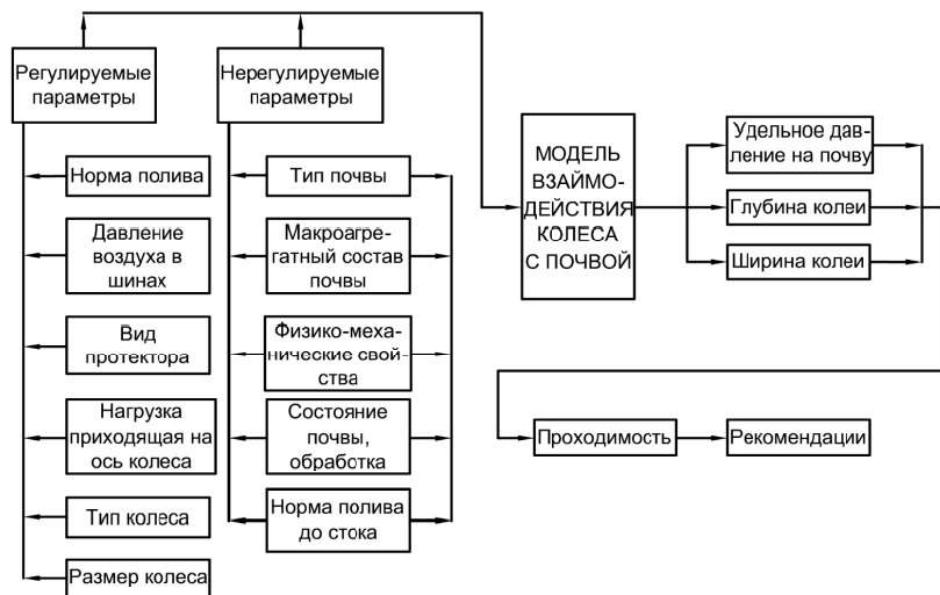


Рис. 1. Модель взаимодействия колеса с почвой

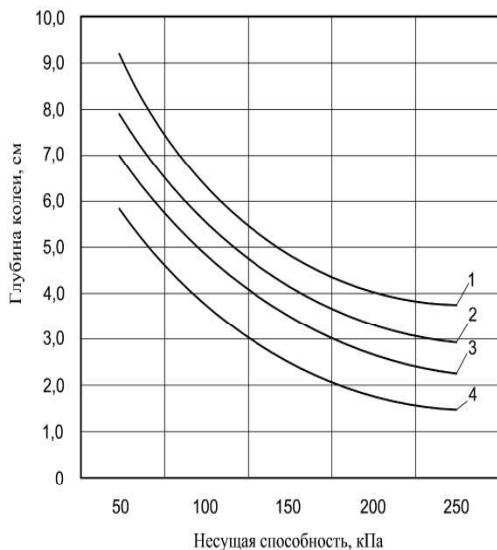


Рис. 2. Зависимость глубины колеи от несущей способности почвы для ДМ «КАСКАД» (шины 16-20) (трубка 159 мм) для первой опоры: 1 – пролет 65 м; 2 – пролет 59,5 м; 3 – пролет 48,7 м; 4 – пролет 30 м

Теоретическая зависимость глубины и ширины колеи от несущей способности почвы и расстояния от основной опоры представлена на рис. 2–4.

Методика исследований. Полевые исследования проводили на полях УНПО «Поволжье» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ (с. Степное Энгельсского района Саратовской области), УНПК Агроцентра СГАУ; ООО «Наше дело» (Саратовская область, Марксовский район). Дождевальные машины: «Кубань-ЛК1М» (Каскад) и ДМ «КАСКАД», рис. 5.

Результаты исследований. Результаты теоретических исследований по подбору пневматических колес для ДМ типа «Фрегат» и «Кубань-ЛК1», «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД), ЭДМ «КАСКАД» были подтверждены экспериментально.

Зависимость глубины колеи от номера опорной тележки при несущей способности почвы 110–125 кПа в начале (1) и конце (2) поливного сезона, ДМ «Кубань-ЛК1М» (59,5 м пролет, шины 16–20) показана на рис. 6.

Аналогичная зависимость глубины колеи от номера опорной тележки при несущей способности почвы 75–95 кПа в начале (1) и конце (2) поливного сезона прослеживается и для ДМ «Фрегат» ДМУ-Б-463-90 (жесткие колеса), рис. 7.

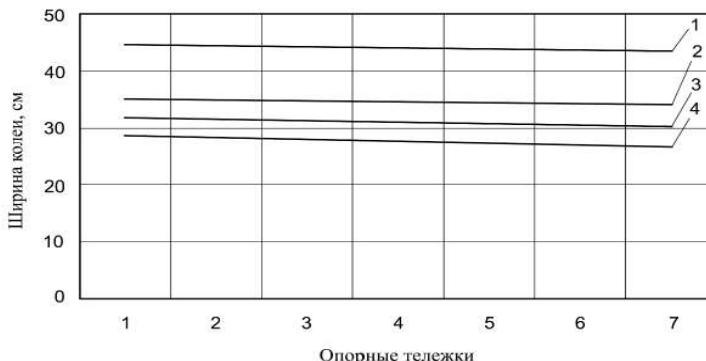


Рис. 3. Зависимость ширины колеи от порядкового номера опорной тележки (расстояние от основной опоры) для ДМ «КАСКАД» (несущая способность почвы 100 кПа): 1 – шины 23-26; 2 – шины 18-24; 3 – шины 16-20; 4 – шины 14,9-24

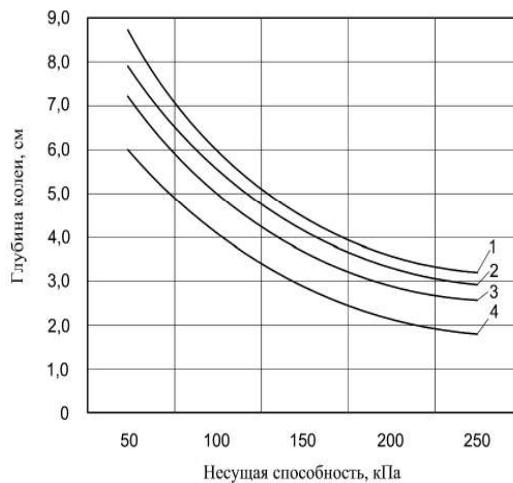


Рис. 4. Зависимость глубины колеи от несущей способности почвы для ДМ «КАСКАД» пролет 59,5 м (труба 159 мм) для первой опоры: 1 – шины 14,9-24; 2 – шины 16-20; 3 – шины 18-24; 4 – шины 23-26



Рис. 5. Дождевальная машина «КАСКАД»

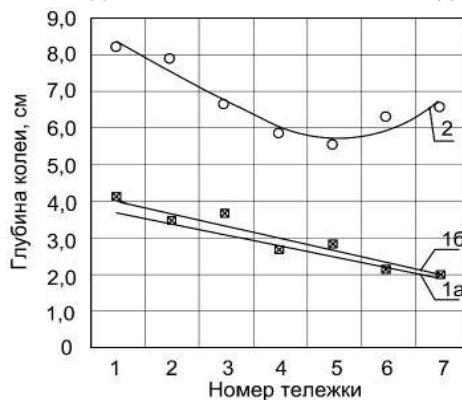


Рис. 6. Зависимость глубины колеи от номера опорной тележки при несущей способности почвы 110–125 кПа в начале (1) и конце (2) поливного сезона, ДМ «Кубань-ЛК1М» (59,5 м пролет, шины 16-20): 1а – теоретически; 1б – экспериментально - $H = -0,275n_{\text{от}} + 3,9$; $R^2 = 0,953$; 2 – $H = 0,03n_{\text{от}}^3 - 0,206n_{\text{от}}^2 - 0,357n_{\text{от}} + 8,871$; $R^2 = 0,935$



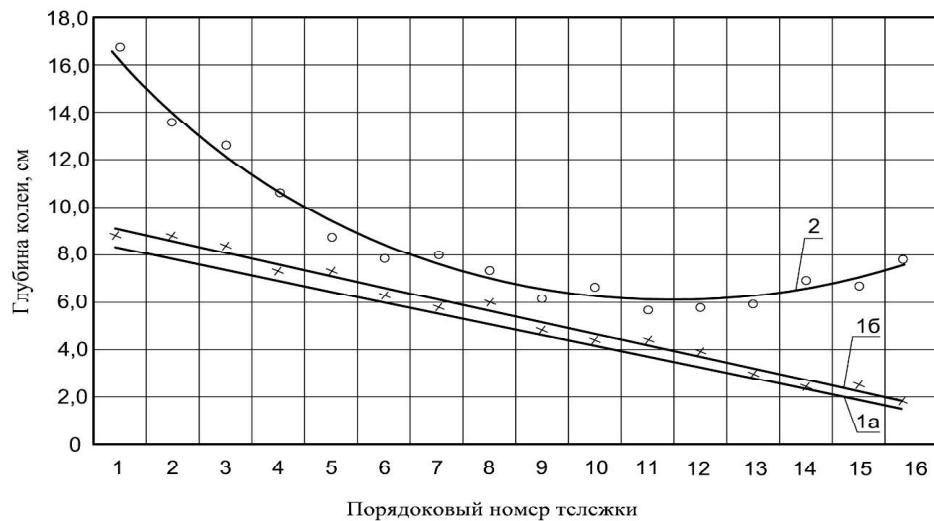


Рис. 7. Зависимость глубины колеи от номера опорной тележки при несущей способности почвы 75–95 кПа в начале (1) и конце (2) поливного сезона ДМ «Фрегат»
ДМУ-Б-463-90 (жесткие колеса): 1a – теоретически –
 $H = 0,093n_{\text{от}}^2 - 2,17n_{\text{от}} + 18,87; R^2 = 0,981$; 2 – $H = -0,493n_{\text{от}} + 9,767; R^2 = 0,978$

Зависимости колеи от несущей способности почвы и дистоковой поливной нормы в начале, середине и конце трубопровода для ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) и ДМ «Фрегат» представлены на рис. 8, 9.

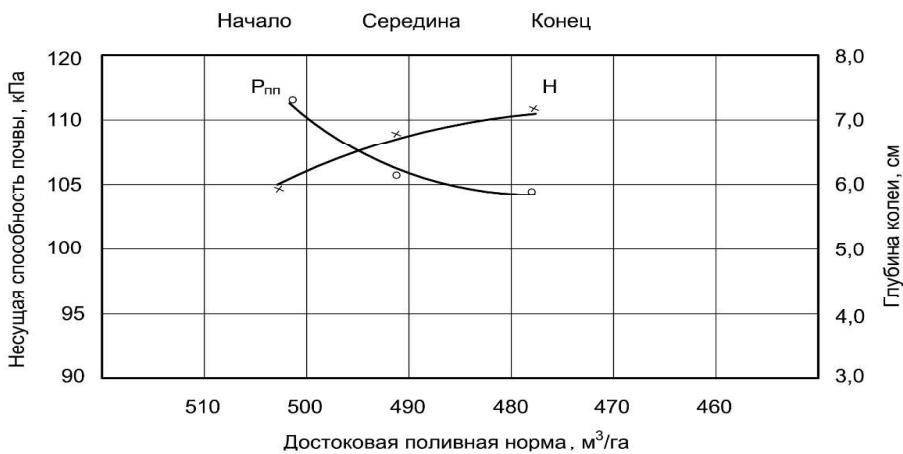


Рис. 8. ДМ «Кубань-ЛК1М» (КАСКАД) (59,5 м пролет, шины 18–24)

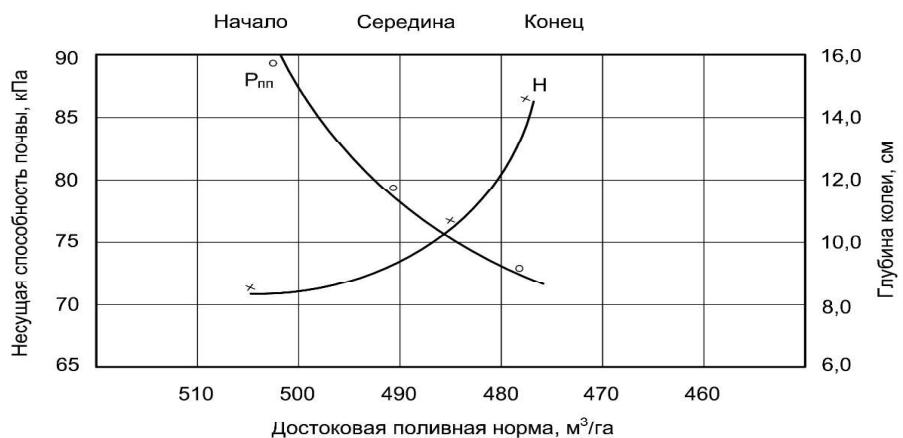


Рис. 9. ДМ «Фрегат» (жесткие колеса)

На основании исследований взаимосвязи системы «норма полива – почва – дождевальная машина» были выявлены закономерности колеобразования после прохода широкозахватных дождевальных машин кругового действия.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о возможности увеличения пролета до 65 м, при которых величина колеи не превышает нормативных значений при несущей способности более 100 кПа и поливной норме порядка 300–350 м³/га.

Для почв с низкой несущей способностью и машин с длиной пролетов более 59 м рационально применение колес сшинами не менее 16–20, а при уменьшении несущей способности – шины 18–24.

Заключение. На основе проведенных экспериментов можно дать следующие рекомендации по подбору ходовых систем в зависимости от нормы полива:

норма полива до 300 м³/га, несущая способность $P_{\text{пп}} \geq 80-100$ кПа: рекомендуется применить пневмоколеса с узкими шинами. При этом глубина колеи не более 8–10 см;

норма полива от 300 до 500 м³/га, несущая способность $P_{\text{пп}} \geq 60-80$ кПа: рекомендуется применить пневмоколеса с обычными шинами. При этом глубина колеи в диапазоне 5–10 см;

норма полива более 500 м³/га, несущая способность $P_{\text{пп}} < 60$ кПа: рекомендуется применить пневмоколеса с широкими шинами. При этом глубина колеи составляет 10–15 см.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журавлева Л.А. Ресурсосберегающие широкозахватные дождевальные машины кругового действия: дис. ... д-ра техн. наук. Саратов, 2018. 409 с.
2. Журавлева Л. А., Тхуан Н. В. Уменьшение колеообразования широкозахватных дождевальных машин // Известия МГТУ «МАМИ». 2020. №4(46). С. 38-45.
3. Журавлева Л. А., Тхуан Н. В. Оптимизация параметров ходовых систем широкозахватных дождевальных машин кругового действия // Collection of scientific papers, on materials of the XIII international scientific-practical conference. IJournal. 2021. С. 148–155.
4. Малько И. В. Улучшение тягово-сцепных свойств ходовых систем дождевальных машин кругового действия «Фрегат» // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева; 2014. № 2 (22). С. 56–59.
5. Рязанцев А. И., Кириленко Н. Я., Малько И. В., Егоров Ю. Н. Повышение тягово-сцепных свойств ходовых систем широкозахватных дождевальных машин кругового действия «Фрегат» // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2009. №3. С. 19–22.
6. Hildebrand R., Keskinen E., Navarrete J. Vehicle vibrating on a soft compacting soil half-space: ground vibrations, terrain damage, and vehicle vibrations // J Terramechanics. 2008; 45, 121–36.
7. Hopkins M. A., Johnson J. B., Sullivan R. Discrete Element Modeling of a Rover Wheel in Granular Material Under the Influence of Earth, Mars, and Lunar Gravity; 2008, 17.
8. Irani R. A., Bauer R. J., Warkentin A. A dynamic terramechanic model for small lightweight vehicles with rigid wheels and grousers operating in sandy soil // J Terramechanics. 2011; 48, 307–18.
9. Kloss C., Goniva C. LIGGGHTS: A new open-source discrete element simulation software // 5th International conference on discrete element methods, London, UK; 2010.
10. Laib L. On the mobility of cross-country vehicles, with emphasis on modeling their dynamic motion // Vehicle Syst Dyn. 1998; 29(sup1), 682–703.
11. Meirion-Griffith G., Spenko M. An empirical study of the terramechanics of small unmanned ground vehicles; 2010, 1–6.
12. Negru D., Mazhar H., Melanz D., Lamb D., Jayakumar P., Letherwood M., Jain A., Quadrelli M. Investigating the mobility of light autonomous tracked vehicles using a high-performance computing simulation capability // Modeling & Simulation, Testing and Validation (MSTV) Mini-Symposium, Michigan; 2012.
13. Park S., Popov A. A., Cole D. J. Influence of soil deformation on off-road heavy vehicle suspension vibration // J Terramechanics. 2004;41(1), 41–68.
14. Tsuji T., Nakagawa Y., Matsumoto N., Kadono Y., Takayama T., Tanaka T. 3-D DEM simulation of cohesive soil-pushing behavior by bulldozer blade // J Terramechanics. 2012; 49(1), 37–47.
15. Zhu H. P., Zhou Z. Y., Yang R. Y., Yu A. B. Discrete particle simulation of particulate systems: a review of major applications and findings // Chem Eng Sci. 2008; 63(23), 5728–70.

REFERENCES

1. Zhuravleva L. A. Resource-saving wide-grip sprinkler machines of circular action: dis. Saratov, 2018. 409 p.
2. Zhuravleva L. A., Thuan N.V. Reduced rutting of wide-grip sprinklers // Izvestiya MGTU "MAMI". 2020; 4(46), 38-45.
3. Optimization of the parameters of the travel systems of wide-grip sprinkler machines // Collection of scientific papers, on materials of the XIII international scientific-practical conference. IJournal. 2021, 148-155.
4. Mal'ko I. V. Improvement of the tractive-coupling properties of the travel systems of sprinkler machines of circular action "Fregat" // Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. 2014; 2 (22), 56-59.
5. Ryazantsev A. I., Kirilenko N. Ya., Mal'ko I. V., Egorov Yu. N. Improvement of the tractive-coupling properties of the travel systems of wide-grip sprinkler machines of circular action "Fregat" // Bulletin of FGOU VPO MGAU. 2009; 3, 19-22.
6. Hildebrand R., Keskinen E., Navarrete J. Vehicle vibrating on a soft compacting soil half-space: ground vibrations, terrain damage, and vehicle vibrations // J Terramechanics. 2008; 45, 121–36.
7. Hopkins M. A., Johnson J. B., Sullivan R. Discrete Element Modeling of a Rover Wheel in Granular Material Under the Influence of Earth, Mars, and Lunar Gravity; 2008, 17.
8. Irani R. A., Bauer R. J., Warkentin A. A dynamic terramechanic model for small lightweight vehicles with rigid wheels and grousers operating in sandy soil // J Terramechanics. 2011; 48, 307–18.
9. Kloss C., Goniva C. LIGGGHTS: A new open-source discrete element simulation software // 5th International conference on discrete element methods, London, UK; 2010.
10. Laib L. On the mobility of cross-country vehicles, with emphasis on modeling their dynamic motion // Vehicle Syst Dyn. 1998; 29(sup1), 682–703.
11. Meirion-Griffith G., Spenko M. An empirical study of the terramechanics of small unmanned ground vehicles; 2010, 1–6.
12. Negru D., Mazhar H., Melanz D., Lamb D., Jayakumar P., Letherwood M., Jain A., Quadrelli M. Investigating the mobility of light autonomous tracked vehicles using a high-performance computing simulation capability // Modeling & Simulation, Testing and Validation (MSTV) Mini-Symposium, Michigan; 2012.
13. Park S., Popov A. A., Cole D. J. Influence of soil deformation on off-road heavy vehicle suspension vibration // J Terramechanics. 2004;41(1), 41–68.
14. Tsuji T., Nakagawa Y., Matsumoto N., Kadono Y., Takayama T., Tanaka T. 3-D DEM simulation of cohesive soil-pushing behavior by bulldozer blade // J Terramechanics. 2012; 49(1), 37–47.
15. Zhu H. P., Zhou Z. Y., Yang R. Y., Yu A. B. Discrete particle simulation of particulate systems: a review of major applications and findings // Chem Eng Sci. 2008; 63(23), 5728–70.

Статья поступила в редакцию 28.06.2021; одобрена после рецензирования 15.07.2021; принята к публикации 25.08.2021.
The article was submitted 28.06.2021; approved after reviewing 15.07.2021; accepted for publication 25.08.2021.

