






Определение конструктивных показателей свекловичной сеялки для равномерного распределения семян







Сергей В. Соловьев	¹	sergsol6800@ya.ru	 0000-0003-4639-9478
Андрей А. Завражнов	¹	noc-inteh@ya.ru	 0000-0003-1884-3594
Александр Г. Абросимов	¹	alexabr84@bk.ru	 0000-0003-2027-5346
Сергей В. Дьячков	¹	alfred_8113@mail.ru	 0000-0002-5691-2055
Алексей А. Бахарев	¹	bakharevalex@mail.ru	 0000-0001-6637-3473
Наталья В. Картечина	¹	kartechnatali@mail.ru	 0000-0001-6318-8395

¹ Мичуринский государственный аграрный университет, ул. Интернациональная, 101, г. Мичуринск, 393760, Россия

Аннотация. В Тамбовской области ввиду широкого внедрения перспективных технологий выращивания сахарной свеклы значительно повысилась ее урожайность, вместе с тем, используемые высевальные аппараты не всегда способны обеспечить необходимую глубину заделки семян, что приводит к потере урожая и сложности внесения удобрений. В ходе ранее проведенных исследований, определено, что при увеличении угла установки скребка свыше 60 градусов происходит увеличение процента заполнения ячеек диска семенами у различных гибридов, так исследованиями установлено, что у гибрида РМС-120 при угле установки скребка 70 градусов происходит 100 процентное заполнение ячеек семенами, тогда как у гибридов ХМ-1820 и Тройка ячейки заполнялись лишь на 93,3%. Следует отметить также, что у гибрида РМС-120 при угле установки скребка 70 градусов была отмечена самая низкая повреждаемость драже - 0,67%, тогда как у гибридов ХМ-1820 и Тройка значения данного показателя составляли соответственно 0,83 и 0,73%. При увеличении угла установки скребка свыше 80 градусов увеличивался процент поврежденных семян от 0,4 до 0,66%, на основании этого предложена и теоретически обоснована конструкция высевального аппарата, особенностью которого является обратное вращение высевального диска, при этом задняя стенка сошника выполнена в виде параболы соответствующей траектории движения семян, что обеспечивает их распределение в непосредственной близости от его задней стенки тем самым снижая риски засыпания ложе борозды до попадания туда гранул. Определено, что траектория движения гранулы напрямую зависит от угловой скорости высевального диска, а та в свою очередь зависит от геометрических характеристик ячеек высевального диска. Теоретически обосновано, что скорость семеня в ячейке диска определяется суммой проекций, что дает возможность рассчитать криволинейную поверхность сошника.

Ключевые слова: сахарная свекла, высевальной аппарат, сошник, семя, свекловичная сеялка

Determination of the beet planter design parameters for uniform seed distribution

Sergey V. Soloviev	¹	sergsol6800@ya.ru	 0000-0003-4639-9478
Andrey A. Zavrazhnov	¹	noc-inteh@ya.ru	 0000-0003-1884-3594
Alexander G. Abrosimov	¹	alexabr84@bk.ru	 0000-0003-2027-5346
Sergey V. Dyachkov	¹	alfred_8113@mail.ru	 0000-0002-5691-2055
Alexey A. Bakharev	¹	bakharevalex@mail.ru	 0000-0001-6637-3473
Natalia V. Kartechina	¹	kartechnatali@mail.ru	 0000-0001-6318-8395

¹ Michurinsk State Agrarian University, 101, International st., Michurinsk, 393760, Russia

Abstract. In the Tambov region, the yield of sugar beet has increased significantly due to the widespread introduction of promising technologies for its cultivation. At the same time, the used planting devices are not always capable of providing the required seeding depth. This results in yield loss and fertilizing difficulty. In the course of previous studies, it was determined that an increase in the percentage of disc cells filling with seeds in various hybrids occurs with an increase in the scraper angle of over 60 degrees. Thus, studies found out that in the PMS-120 hybrid at a scraper angle of 70 degrees, the cells are filled with seeds by 100%, and in the XM-1820 and Troika hybrids, the cells were filled only by 93.3%. It should also be noted that the PMC-120 hybrid with a scraper angle of 70 degrees had the lowest damage to the pellets - 0.67%, while the XM-1820 and Troika hybrids had 0.83% and 0.73%, respectively. The percentage of damaged seeds increased from 0.4% to 0.66% with an increase in the scraper angle over 80 degrees. The design of the planting unit was offered and theoretically justified on this basis. Its feature is the reverse rotation of the planting disc. In this case, the opener rear wall is made in the form of a parabola corresponding to the trajectory of the seed movement. This ensures that the seed is distributed in close proximity to its rear wall and thus reduces the risk of filling the furrow bed before the pellets get there. It was determined that the trajectory of the granule movement depends directly on the angular velocity of the seeding disc, and it, in turn, depends on the geometric characteristics of the seeding disc cells. It is theoretically substantiated that the speed of the seed in the disc cell is determined by the projections sum. This makes it possible to calculate the opener curved surface.

Keywords: sugar beet, seeder apparatus, opener, seed, beet planter

Для цитирования

Соловьев С.В., Завражнов А.А., Абросимов А.Г., Дьячков С.В., Бахарев А.А., Картечина Н.В. Определение конструктивных показателей свекловичной сеялки для равномерного распределения семян // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 2. С. 35–39. doi:10.20914/2310-1202-2021-2-35-39

For citation

Soloviev S.V., Zavrazhnov A.A., Abrosimov A.G., Dyachkov S.V., Bakharev A.A., Kartechina N.V. Determination of the beet planter design parameters for uniform seed distribution. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 2. pp. 35–39. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-2-35-39

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Сахарная свёкла в Российской Федерации является основным источником получения сахара. По мере развития сельскохозяйственной науки технология её возделывания постоянно совершенствуется. После освоения технологии посева сахарной свёклы на конечную густоту насаждения, исключая ручной труд, основным препятствием при её возделывании является засорённость [1-4]. В 60–90 гг. XX века из-за отсутствия высокоэффективных гербицидов для борьбы с сорняками применяли разноглубинные междурядные обработки.

По мере развития свекловичного производства в условиях северо-востока Центрально Черноземной зоны РФ в перспективе возможно проведение исследований с применением высокопроизводительных широкозахватных (24 и 36 рядных) посевных машин и пропашных культиваторов, с использованием зарубежных регуляторов роста и высокопродуктивных отечественных гибридов сахарной свёклы [3, 5, 9].

Вместе с тем, большое значение для формирования урожая и повышения всхожести имеет механизация процесса высева семян, которая, в конечном итоге, определяет эффективность применения агротехнологических мероприятий и внесение необходимого количества удобрений [1, 3, 7-10].

Основной задачей посева сахарной свёклы является равномерная заделка семян на определённую глубину с равномерным распределением их в рядке и обеспечения расстояния между всходами в рядке 16–20 см. Семя должно попасть в подготовленное ложе, находящееся на границе влажного осажженного и рыхлого верхнего слоев почвы. Для достижения поставленной цели предлагается высевающий аппарат в котором высевающий диск имеет обратное вращение, а задняя стенка сошника выполнена в виде параболы соответствующей траектории движения семян тем самым обеспечит распределение семян в непосредственной близости от его задней стенки тем самым снижая риски засыпания ложа борозды до попадания туда гранул [11-13].

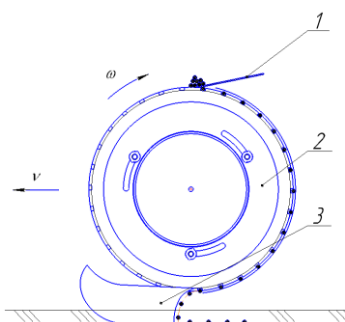


Рисунок 1. Схема высевающего аппарата
Figure 1. Seeder apparatus diagram

Траектория движения гранулы напрямую зависит от угловой скорости высевающего диска, а та в свою очередь зависит от геометрических характеристик ячеек высевающего диска.

Материалы и методы

Угловая скорость диска при этом будет равняться [11]:

$$\omega_d = \frac{2\pi \vartheta_a n_{об}}{n_p}, \text{ c}^{-1} \quad (1)$$

где ϑ_a – скорость движения агрегата, м/с; n_p – количество рядов на диске.

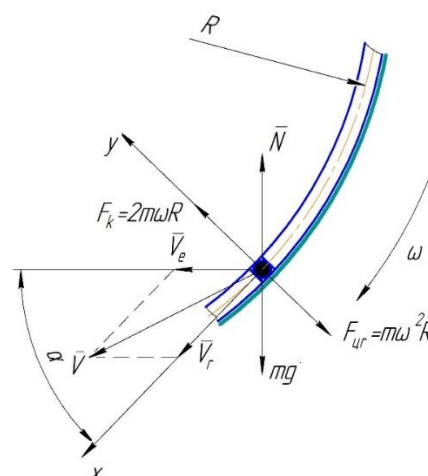


Рисунок 2. К определению траектории полета дражжированного семени

Figure 2. To determine the flight path of pelleted seed

Рассмотрим движение семян на участке АВ (рисунок 2), (движение семян в ячейке барабана, считая семя материальной точки. Дуга и корпуса не дает возможность выпадения семян из ячейки. Изображая семя в произвольном положении, рисунок 2, и действующие на него силы $P = mg$, N и F

$$F_{ц} = m\omega^2 R \quad (2)$$

где R – радиус диска высевающего аппарата, м; m – масса семени; ω – угловая скорость диска, рад/с [14-18].

Сила трения семени о поверхность корпуса определяется по выражению 3:

$$F_{TP} = fN \quad (3)$$

Сила инерции Кориолиса равна [17-20]:

$$F_K = 2m|\omega||V_q|\sin(\omega, V_q) \quad (4)$$

Так как угол между векторами ω и V_q равен 90° , и $V_q = \omega R$, то получим:

$$F_K = 2m\omega^2 R \quad (5)$$

Для определения N спроецируем силы

на ось $y \sum F_i y = 0$

$$N + F_K - mg \cos \alpha = 0$$

$$N = mg \cos \alpha - F_K = mg \cos \alpha - 2m\omega R = m(g \cos \alpha - 2\omega R) \quad (6)$$

Тогда:

$$F_{TP} = fm(g \cos \alpha - 2\omega R) \quad (7)$$

$$\begin{cases} m \frac{dV_x}{dt} = F_u - F_{mp} + mg \sin \alpha \\ m \frac{dV_y}{dt} = F_K + N - mg \cos \alpha \end{cases} \quad (8)$$

или

$$\begin{cases} m \frac{dV_r}{dr} = F_u - F_{TP} + mg \sin \alpha \\ m V_x \frac{dV_x}{dx} = F_u - F_{mp} + mg \sin \alpha \\ m V_y \frac{dV_y}{dy} = F_K + N - mg \cos \alpha \end{cases} \quad (9)$$

С учетом уравнений (2), (5)–(7) получим:

$$\begin{cases} m V_x \frac{dV_x}{dx} = m\omega^2 R - fm(g \cos \alpha - 2\omega R) + mg \sin \alpha \\ m V_y \frac{dV_y}{dy} = 2m\omega R + m(g \cos \alpha - 2\omega R) - mg \cos \alpha \end{cases} \quad (10)$$

Сократив на m и преобразовав получим:

$$\begin{cases} V_x \frac{dV_x}{dx} = \omega^2 R - fg \cos \alpha + 2f\omega R + g \sin \alpha \\ V_y \frac{dV_y}{dy} = 2\omega R + g \cos \alpha - 2\omega R - g \cos \alpha \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} V_x^2 = 2\omega^2 R x - 2xf g \cos \alpha + 4xf\omega R + 2gx \sin \alpha + C_1 \\ V_y^2 = 4x\omega R + 2gx \cos \alpha - 4x\omega R - 2gx \cos \alpha + C_2 \end{cases}$$

В результате скорость семени в ячейке диска будет определяться суммой проекций

$$(x) \begin{cases} V_x^2 = (2\omega^2 R - 2fg \cos \alpha + 4f\omega R + 2g \sin \alpha)x + C_1 \\ V_y^2 = C_2 \end{cases} \quad (12)$$

Обозначим

$A = 2\omega^2 R - 2fg \cos \alpha + 4f\omega R + 2g \sin \alpha$, тогда система примет вид:

$$\begin{cases} V_x^2 = Ax + C_1 \\ V_y^2 = C_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_x = \sqrt{Ax + C_1} \\ V_y = \sqrt{C_2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \int V_x dx = \int \sqrt{Ax + C_1} dx \\ \int V_y dy = \int \sqrt{C_2} dy \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = \frac{2\sqrt{(Ax + C_1)^3}}{3A} + C_3 \\ y = C_2 y + C_4 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = \frac{2}{3} \frac{\sqrt{((2\omega^2 R - 2fg \cos \alpha + 4f\omega R + 2g \sin \alpha)x + C_1)^3}}{(2\omega^2 R - 2fg \cos \alpha + 4f\omega R + 2g \sin \alpha)} + C_3 \\ y = C_2 y + C_4 \end{cases}$$

при $C_4 = 0$. При $x = 0$, $\alpha = 7^\circ$, $y = 0$

Результаты и обсуждение

С учетом основных характеристик сеялки была выявлена траектория движения гранулы после выхода из семявысевающего аппарата и до укладки её на дно борозды сделанную сошником. В свою очередь это позволяет нам в дальнейшем спроектировать конструкцию сошника

Заключение

Для посева сахарной свёклы и обеспечения равномерной заделки семян на определённую глубину с равномерным распределением их в рядке, а также снижения рисков возникающих при движении гранулы после выхода из семявысевающего аппарата и до укладки её на дно борозды была рассчитана криволинейная поверхность сошника.

Благодарности

Результаты исследований, представленные в статье, получены в рамках реализации Соглашения № 075–11–2019–041 от 22 ноября 2019 г. между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и ОАО «Миллеровосельмаш» на выполнение НИОКТР по теме «Создание высокотехнологичного производства многофункциональных комплексов для посева и возделывания пропашных и овощных культур в системе «точного» и «нулевого» земледелия на базе интеллектуальных мехатронных модулей». НИОКТР выполняется в организации Головного исполнителя (ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ).

Литература

- 1 Minakov I.A., Nikitin A.V. Agricultural market development: Trends and prospects // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019. V. 9. № 1. P. 3842–3847.
- 2 Nikitin A., Karamnova N., Kuzicheva N., Belousov V. Sustainable development of sugar beet subcomplex // International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. V. 9. № 1. P. 5058–5064.

- 3 Nikitin A.V., Trunova S.N., Voropaeva, V.A. The assessment of the effectiveness of the implementation of scenarios for the sustainable development of agriculture // *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. V. 8. № 10. P. 3002–3005.
- 4 Kosolapov V.V., Kosolapova E.V., Igoshin D.N., Skorokhodov A.N. et al. Virtual modelling and laboratory research of parameters of planting unit's working parts // *Acta Technologica Agriculturae*. 2019. V. 22. № 1. P. 31–37.
- 5 Lubova T.N., Islamgulov D.R., Ismagilov K.R., Ismagilov R.R. et al. Economic efficiency of sugar beet production // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. V. 13. № S8. P. 6565–6569.
- 6 Mostypan M.I., Vasylykovska K.V., Andriyenko O.O., Reznichenko V.P. Modern aspects of tilled crops productivity forecasting // *INMATEH-Agricultural Engineering*. 2017. V. 53(3).
- 7 Гуреев, И.И. Современные технологии возделывания и уборки сахарной свёклы: практическое руководство. М.: Печатный Город, 2011. 256 с.
- 8 Загубин В.Ю., Нанаенко А.К. Как рационально посеять свёклу // *Сахарная свёкла*. 2000. № 4–5. С. 22–23.
- 9 Нанаенко А.К. Системный подход к разработке новых технологий в свекловодстве // *Сахарная свёкла*. 2011. № 3. С. 18–19.
- 10 Дьяков Д.А., Минакова О.А., Боронтов О.К., Косякин П.А. и др. Влияние погодных условий и элементов агротехники на питательный режим почвы и продуктивность сахарной свеклы // *Сахарная свекла*. 2015. № 10. С. 33–35.
- 11 Горшенин В.И., Абросимов А.Г., Дробышев И.А., Соловьёв С.В. Теоретическое обоснование конструктивных параметров высевального аппарата свекловичной сеялки // *Научное обозрение*. №8. 2016. С. 84–89.
- 12 Горшенин В.И., Абросимов А.Г., Соловьёв С.В. Исследование влияния конструктивных параметров модернизированного высевального аппарата сеялки ССТ-12Б на заполнение ячейки диска семенами // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2016. №4. С. 150–155.
- 13 Афонин Н.М., Черемисин Д.В. Влияние густоты посева на рост, развитие и формирование урожая сахарной свеклы при выращивании в условиях тамбовской области // *Наука и Образование*. 2019. Т. 2. № 4. С. 150.
- 14 Zykin E., Lazutkina S. The theoretical substantiation of the roller diameter of a versatile tillage implement // *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2020. V. 971. № 5. P. 052060.
- 15 Ларюшин Н.П., Шумаев В.В., Шуков А.В. Технология и средство механизации посева мелкосемянных масличных культур комбинированными сошниками сеялки. Теория, конструкция, расчет. 2018.
- 16 Волошин И.В., Ларюшин Н.П., Кувайцев В.Н., Шумаев В.В. и др. Конструкция комбинированного сошника для посева зерновых культур // *Нива Поволжья*. 2017. Т. 2 (43).
- 17 Раднаев Д.Н., Калашников С.С., Калашников С.Ф. Определение скорости движения семени после соударения с рассеивателем модернизированного двухдискового сошника // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова*. 2017. № 1. С. 78–82.
- 18 Павлов И.М., Сарсенов А.Е. Тяговое сопротивление сошника // *Аграрный научный журнал*. 2017. № 2. С. 64–66.
- 19 Кокошин С.Н., Киргинцев Б.О., Ташланов В.И. Математическое исследование взаимодействия сошника с почвой // *Агропродовольственная политика России*. 2017. № 7. С. 85–90.
- 20 Bulgakov V., Adamchuk V., Nadykto V., Kistechok O. et al. Theoretical research into the stability of motion of the ploughing tractor-implement unit operating on the 'push-pull' principle. 2017.

References

- 1 Minakov I.A., Nikitin A.V. Agricultural market development: Trends and prospects. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. vol. 9. no. 1. pp. 3842–3847.
- 2 Nikitin A., Karamnova N., Kuzicheva N., Belousov V. Sustainable development of sugar beet subcomplex. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019. vol. 9. no. 1. pp. 5058–5064.
- 3 Nikitin A.V., Trunova S.N., Voropaeva, V.A. The assessment of the effectiveness of the implementation of scenarios for the sustainable development of agriculture. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. vol. 8. no. 10. pp. 3002–3005.
- 4 Kosolapov V.V., Kosolapova E.V., Igoshin D.N., Skorokhodov A.N. et al. Virtual modelling and laboratory research of parameters of planting unit's working parts. *Acta Technologica Agriculturae*. 2019. vol. 22. no. 1. pp. 31–37.
- 5 Lubova T.N., Islamgulov D.R., Ismagilov K.R., Ismagilov R.R. et al. Economic efficiency of sugar beet production. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. vol. 13. no. S8. pp. 6565–6569.
- 6 Mostypan M.I., Vasylykovska K.V., Andriyenko O.O., Reznichenko V.P. Modern aspects of tilled crops productivity forecasting. *INMATEH-Agricultural Engineering*. 2017. vol. 53(3).
- 7 Gureev, I.I. Modern technologies of cultivation and harvesting of sugar beets: a practical guide. Moscow, Pechatny Gorod, 2011. 256 p. (in Russian).
- 8 Zagubin V.Yu., Nanaenko A.K. How to rationally sow beets. *Sugar beet*. 2000. no. 4-5. pp. 22–23. (in Russian).
- 9 Nanaenko A.K. A systematic approach to the development of new technologies in beet growing. *Sugar beet*. 2011. no. 3. pp. 18–19. (in Russian).
- 10 Dyakov D.A., Minakova O.A., Borontov O.K., Kosyakin P.A. et al. Influence of weather conditions and elements of agricultural technology on the nutrient regime of the soil and the productivity of sugar beet. *Sugar beet*. 2015. no. 10. pp. 33–35. (in Russian).
- 11 Gorshenin V.I., Abrosimov A.G., Drobyshev I.A., Soloviev S.V. Theoretical substantiation of the design parameters of the seeding apparatus of the beet seeder. *Scientific Review*. no. 8. 2016. pp. 84–89. (in Russian).
- 12 Gorshenin V.I., Abrosimov A.G., Soloviev S.V. Investigation of the influence of the design parameters of the modernized seeding apparatus of the SST-12B seeder on filling the disk cell with seeds. *Bulletin of Michurinsky State Agrarian University*. 2016. no. 4. pp. 150–155. (in Russian).
- 13 Afonin N.M., Cheremisin D.V. The influence of planting density on the growth, development and formation of the yield of sugar beet when grown in the Tambov region. *Science and Education*. 2019. vol. 2. no. 4. pp. 150. (in Russian).

- 14 Zykin E., Lazutkina S. The theoretical substantiation of the roller diameter of a versatile tillage implement. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020. vol. 971. no. 5. pp. 052060.
- 15 Laryushin N.P., Shumaev V.V., Shukov A.V. Technology and means of mechanization of sowing small-seeded oilseeds with the combined openers of the seeder. Theory, design, calculation. 2018. (in Russian).
- 16 Voloshin I.V., Laryushin N.P., Kuvaitsev V.N., Shumaev V.V. and others. The design of the combined opener for sowing grain crops. Niva Povolzhya. 2017. vol. 2 (43). (in Russian).
- 17 Radnaev D.N., Kalashnikov S.S., Kalashnikov S.F. Determination of the speed of movement of the seed after collision with the scatterer of the modernized double-disc opener. Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after I.I. V.R. Filippov. 2017. no. 1. pp. 78-82. (in Russian).
- 18 Pavlov I.M., Sarsenov A.E. Pulling resistance of the coulter. Agrarian scientific journal. 2017. no. 2. pp. 64-66. (in Russian).
- 19 Kokoshin S.N., Kirgintsev B.O., Tashlanov V.I. Mathematical study of the interaction of the opener with the soil. Agro-food policy of Russia. 2017. no. 7. pp. 85-90. (in Russian).
- 20 Bulgakov V., Adamchuk V., Nadykto V., Kistechok O. et al. Theoretical research into the stability of motion of the ploughing tractor-implement unit operating on the 'push-pull' principle. 2017.

Сведения об авторах

Сергей В. Соловьев д.с.х.н., профессор, кафедра транспортно-технологических машин и основ конструирования, Мичуринский государственный аграрный университет, ул. Интернациональная, 101, г. Мичуринск, 393760, Россия, sergsol6800@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4639-9478>

Андрей А. Завражнов к.т.н., доцент, инженеринговый центр, Мичуринский государственный аграрный университет, ул. Интернациональная, 101, г. Мичуринск, 393760, Россия, noc-inteh@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1884-3594>

Александр Г. Абросимов к.т.н., доцент, кафедра транспортно-технологических машин и основ конструирования, Мичуринский государственный аграрный университет, ул. Интернациональная, 101, г. Мичуринск, 393760, Россия, alexabr84@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2027-5346>

Сергей В. Дьячков к.т.н., доцент, кафедра транспортно-технологических машин и основ конструирования, Мичуринский государственный аграрный университет, ул. Интернациональная, 101, г. Мичуринск, 393760, Россия, alfred_8113@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5691-2055>

Алексей А. Бахарев к.т.н., доцент, кафедра транспортно-технологических машин и основ конструирования, Мичуринский государственный аграрный университет, ул. Интернациональная, 101, г. Мичуринск, 393760, Россия, bakharevalex@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6637-3473>

Наталья В. Картечина к.с.х.н., доцент, кафедра математики, физики и информационных технологий, Мичуринский государственный аграрный университет, ул. Интернациональная, 101, г. Мичуринск, 393760, Россия, kartechnatali@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6318-8395>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Sergey V. Soloviev Dr. Sci. (Agric.), professor, transport and technological machines and design basics department, Michurinsk State Agrarian University, 101, International st., Michurinsk, 393760, Russia, sergsol6800@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4639-9478>

Andrey A. Zavrazhnov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, engineering center, Michurinsk State Agrarian University, 101, International st., Michurinsk, 393760, Russia, noc-inteh@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1884-3594>

Alexander G. Abrosimov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, transport and technological machines and design basics department, Michurinsk State Agrarian University, 101, International st., Michurinsk, 393760, Russia, alexabr84@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2027-5346>

Sergey V. Dyachkov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, transport and technological machines and design basics department, Michurinsk State Agrarian University, 101, International st., Michurinsk, 393760, Russia, alfred_8113@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5691-2055>

Alexey A. Bakharev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, transport and technological machines and design basics department, Michurinsk State Agrarian University, 101, International st., Michurinsk, 393760, Russia, bakharevalex@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6637-3473>

Natalia V. Kartechina Cand. Sci. (Agric.), associate professor, mathematics, physics and information technologies department, Michurinsk State Agrarian University, 101, International st., Michurinsk, 393760, Russia, kartechnatali@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6318-8395>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 02/04/2021	После редакции 18/04/2021	Принята в печать 20/05/2021
Received 02/04/2021	Accepted in revised 18/04/2021	Accepted 20/05/2021