

Научная статья
УДК 629.113-587
DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_39

Обоснование выбора системы рулевого управления трактора

Александр Николаевич Беляев^{1✉}, Татьяна Владимировна Тришина², Владимир Дмитриевич Бурдыкин³, Алексей Евгеньевич Новиков⁴, Юрий Владимирович Дьяченко⁵

^{1,2,3,4,5}Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия
¹aifkm_belyaev@mail.ru, aifkm@agroeng.vsau.ru✉

Аннотация. Выбор оптимальной схемы системы рулевого управления универсально-пропашного трактора является актуальной задачей, связанной со спецификой агротехнических требований, которые предъявляются к тому или иному скомпонованному с ним типу сельскохозяйственной техники. С целью повышения производительности машинно-тракторного агрегата (МТА), с учетом тенденции наращивания мощности двигателя, увеличивают его вес, что, в свою очередь, приводит к необходимости применения шин увеличенной ширины для равномерного распределения весовой нагрузки на почву. При использовании классической схемы универсально-пропашного трактора применение более широких шин накладывает ограничения на его эксплуатацию в узких междурядьях, что снижает эффективность МТА и ограничивает возможное количество выполняемых им сельскохозяйственных операций. В данном случае целесообразно использовать универсально-пропашной трактор с одинаковыми колесами, при этом необходимо сохранить маневренность и требуемое количество выполняемых операций, что невозможно при использовании для поворота только передних колес. В данной работе предложена система рулевого управления универсально-пропашного трактора с одинаковыми колесами, приведена ее схема и различные алгоритмы изменения положения колес относительно остова машины. Рассматриваемая система рулевого управления со всеми управляемыми колесами позволяет осуществлять различные способы поворота, в том числе с малыми радиусами. Результаты исследований подтвердили эффективность применения предложенной схемы: высокую маневренность, устойчивость и управляемость трактора на различных режимах движения, возможность применения его на транспортных работах, при междурядной обработке пропашных культур, на склонах и в условиях ограниченного пространства.

Ключевые слова: трактор, поворот, система рулевого управления, управляемые колеса, устойчивость движения, маневренность

Для цитирования: Беляев А.Н., Тришина Т.В., Бурдыкин В.Д., Новиков А.Е., Дьяченко Ю.В. Обоснование выбора системы рулевого управления трактора // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. Т. 15, № 2(73). С. 39–44. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_2_39-44.

TECHNOLOGIES AND MECHANICAL MEANS IN AGRICULTURE (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

Rationale for choosing a tractor steering system

Aleksandr N. Belyaev^{1✉}, Tatyana V. Trishina², Vladimir D. Burdykin³,
Aleksey E. Novikov⁴, Yuriy V. Dyachenko⁵

^{1,2,3,4,5}Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia
¹aifkm_belyaev@mail.ru, aifkm@agroeng.vsau.ru✉

Abstract. Choosing optimal scheme of the steering system of a universal row-crop tractor is an urgent task related to the specifics of the agrotechnical requirements that are imposed on a particular type of agricultural machinery combined with it. In order to increase the productivity of the machine-tractor unit (MTU), taking into account the tendency of engine power expanding, usually increase its weight, which in turn leads to the need to use tires of extended width in order to obtain uniform distribution of the weight load on the soil. When classical scheme of a universal row-crop tractor is implemented, the use of wider tires imposes restrictions on its operation in close row-width spacings, which in turn reduces the efficiency of the MTU and limits the possible number of agricultural operations performed by it. In this case, it is advisable to use a universal tractor with equal wheels, while it is necessary to maintain maneuverability and the required number of operations performed, which is impossible when using only the front wheels for turning. The authors propose a steering system of a universal tractor with all equal wheels, consider the design scheme and various algorithms for changing the position of the wheels relative to the frame of the MTU. The steering system under consideration with all steerable wheels allows for various ways of

turning, including with small radii. The results of the research confirmed the effectiveness of the proposed scheme: high maneuverability, stability and controllability of the tractor in various driving modes, the possibility of using it in transport work, during inter-row tillage of arable crops, on slopes and in conditions of limited space.

Keywords: tractor, turning, steering system, steerable wheels, stability of movement, maneuverability

For citation: Belyaev A.N., Trishina T.V., Novikov A.E., Burdykin V.D., Dyachenko Yu.V. Rationale for choosing a tractor steering system. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(2):39-44. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_2_39-44.

Тенденция увеличения энергонасыщенности, сложившаяся в современном тракторостроении [4, 9, 10], в отношении универсально-пропашного трактора осложняется рядом факторов, зависящих от специфики агротехнических требований и технологий выполняемых сельскохозяйственных операций [5].

Одним из условий повышения производительности труда машинно-тракторного агрегата является увеличение скорости движения трактора, для чего, очевидно, необходима более высокая мощность его двигателя [3, 6], что увеличивает вес машины и, следовательно, предъявляет повышенные требования к грузоподъемности шин.

Применение более широких шин значительно сокращает виды работ, на которых можно использовать колесные универсально-пропашные трактора классической схемы, в частности в насаждениях с узкими междурядьями, поэтому использование трактора с четырьмя ведущими колесами одинакового размера в качестве универсально-пропашного способствует решению отмеченной проблемы, так как приводит к равномерной загрузке всех колес и лучшей проходимости в междурядьях [2].

Однако выбор схемы системы рулевого управления такого трактора затруднен. Применение рулевого привода типа шарнирно-сочлененной рамы на универсально-пропашном тракторе с одинаковыми колесами сделало бы невозможным его использование для обработки пропашных культур из-за повреждения растений задними колесами при работе в междурядьях. Управление только передними колесами трактора такой схемы приводит к значительному снижению маневренности на разворотах и на других работах, требующих крутых поворотов, из-за невозможности поворота передних колес на необходимый угол, так как их диаметр больше, чем у передних колес трактора классической схемы.

На тракторах с четырьмя одинаковыми колесами целесообразно применять такую систему рулевого управления, которая бы обеспечивала повороты трактора с большим радиусом только передними колесами и повороты малого радиуса всеми четырьмя колесами. По сравнению с рулевым механизмом типа шарнирно-сочлененной рамы применение такой рулевой системы на тракторах общего назначения, не снижая маневренности, позволяет использовать их в качестве универсально-пропашных, а также повышает безопасность выполнения этими машинами транспортных работ на высоких скоростях благодаря высокой устойчивости, так как повороты большого радиуса осуществляются только передними колесами.

Система рулевого управления с четырьмя управляемыми колесами одинакового размера удовлетворяет вышеописанные требования поворота. Исследования подтвердили высокую маневренность и устойчивость трактора при различных скоростях движения, а также достаточную надежность и работоспособность указанной системы управления поворотом колес [1].

Предложенная система рулевого управления трактора со всеми управляемыми колесами, кинематическая схема которой изображена на рисунке 1, работает следующим образом.

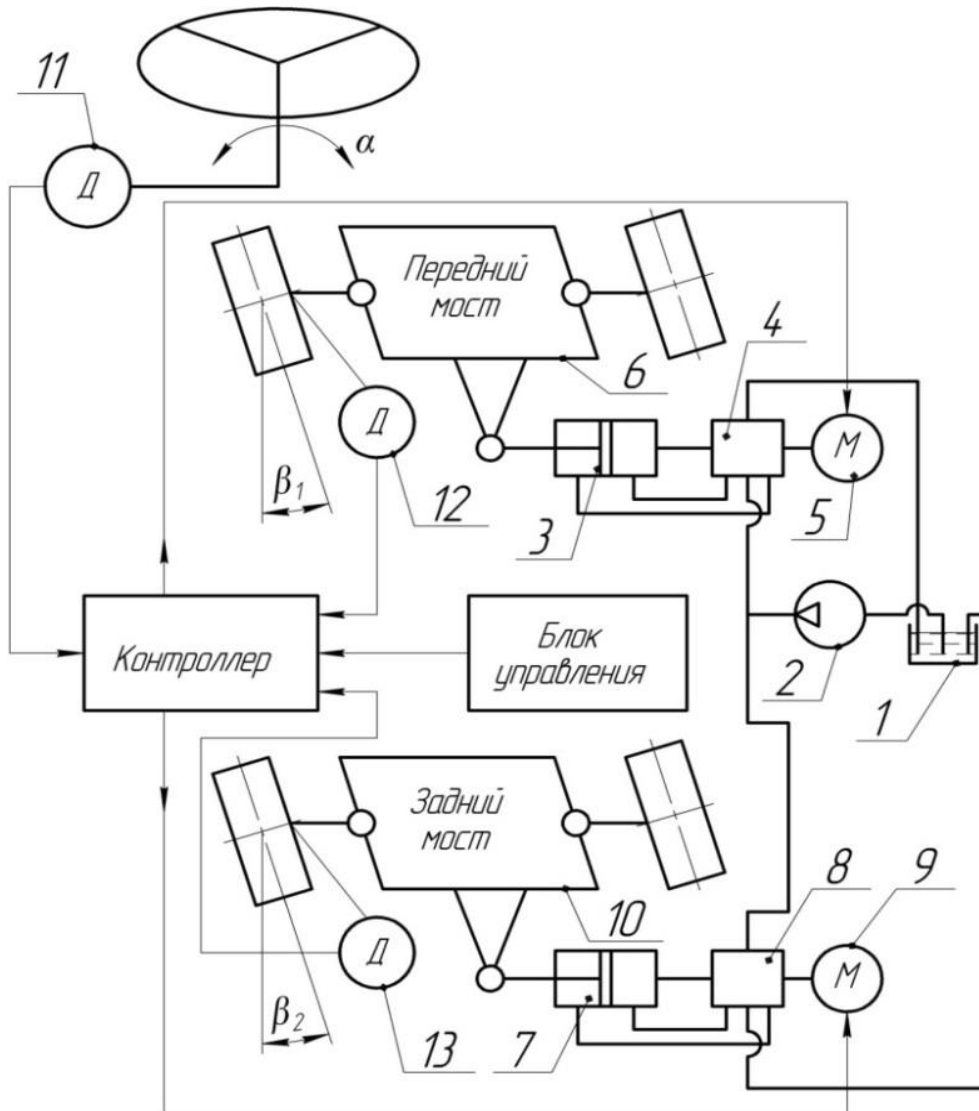


Рис. 1. Система рулевого управления трактора со всеми управляемыми колесами: 1 – гидробак; 2 – гидронасос; 3, 7 – гидроцилиндры; 4, 8 – гидрораспределители; 5, 9 – электромеханические приводы; 6, 10 – рулевые трапеции; 11, 12, 13 – датчики углов поворота рулевого колеса и мостов

В памяти контроллера хранится несколько алгоритмов управления положениями управляемых колес переднего и заднего мостов относительно остова трактора. В зависимости от вида выполняемых работ, агротехнических требований, от типа прицепного устройств или орудия оператор выбирает необходимый вариант управления положением колес переднего и заднего мостов относительно остова и посредством сенсорной панели блока управления отправляет сигнал в контроллер, который и выбирает необходимый алгоритм. Сигнал с датчика 11 угла поворота рулевого колеса поступает в контроллер, где он обрабатывается и в соответствии с выбираемым алгоритмом передается на электромеханические приводы 5 и 9 гидрораспределителей 4 и 8. В зависимости от положения золотников гидрораспределителей 4 и 8 в соответствии с выбираемым алгоритмом масло поступает в соответствующие полости гидроцилиндров 3 и 7 и через тяги воздействуют на рулевые трапеции 6 и 10 и изменяют положение колес. Углы β_1 и β_2 поворота колес являются функциями угла α поворота рулевого колеса [$\beta_1 = f(\alpha)$ и $\beta_2 = f(\alpha)$] и контролируются датчиками 12 и 13.

Обычно достаточно четырех алгоритмов задания способов управления колесами, которые представлены на рисунке 2.

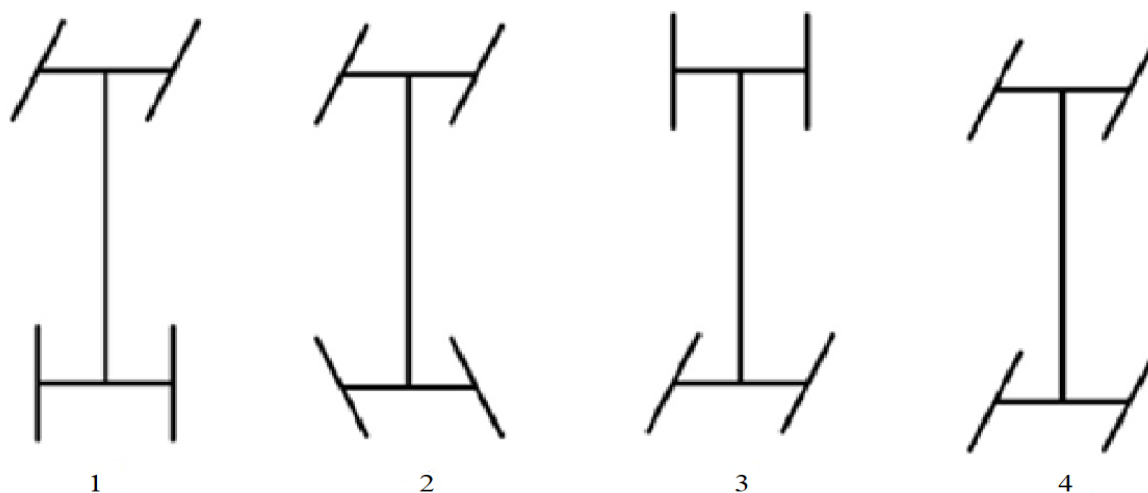


Рис. 2. Варианты алгоритмов управления положением колес: 1 – передние управляемые колеса; 2 – передние и задние управляемые колеса – поворот их в разные стороны относительно остова; 3 – задние управляемые колеса; 4 – передние и задние управляемые колеса – поворот их в одну сторону относительно остова («краб»)

При движении трактора с большими радиусами поворота, например при работе в междурядьях пропашных культур, желательно, чтобы задние колеса не участвовали в повороте, в результате чего вероятность повреждения ими растений практически исключается (рис. 2, способ 1). При выполнении трактором крутых поворотов задние колеса участвуют в повороте наряду с передними, благодаря чему маневренность трактора резко повышается (рис. 2, способ 2). При работе на реверсе способ поворота 3 является аналогом способа 2 (рис. 2). При выполнении операций на склонах единственной возможностью повышения устойчивости трактора является движение способом 4 рисунка 2 [3, 6].

Также возможно получение других различных вариантов изменения законов поворота колес, например запаздывание поворота задних колес относительно передних, как это показано на рисунке 3 [8].

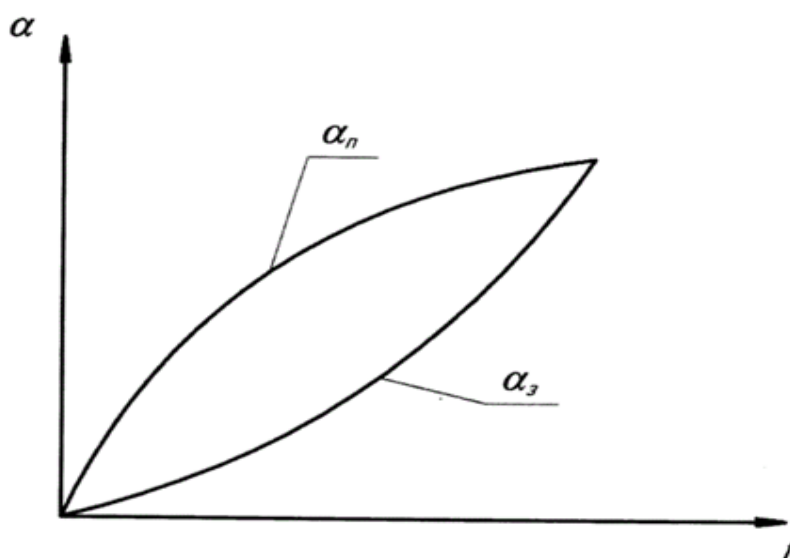


Рис. 3. Законы изменения углов поворота управляемых колес: α_n – средний угол поворота передних управляемых колес; α_z – средний угол поворота задних управляемых колес

Очевидно, что для обеспечения чистого качения всех колес при повороте по тому или иному способу должны меняться параметры рулевой трапеции мостов с целью перемещения мгновенного центра скоростей в нужное положение [7]. Но при этом, в целях предотвращения проскальзывания колес при криволинейном движении трактора, необходим более тщательный теоретический анализ всех механизмов системы рулевого управления, особенно для обеспечения дифференцированного поворота передних и задних колес.

Выводы

Разработанная система рулевого управления трактора со всеми управляемыми колесами позволяет реализовывать различные режимы поворота управляемых колес, что значительно улучшает маневренность, устойчивость машины, повышает качество выполняемых операций, дает возможность эксплуатировать трактор при выполнении различных операций:

- при работе в условиях ограниченного пространства;
- при междурядной обработке пропашных культур;
- при обработке почвы на склонах;
- на транспортных внутрихозяйственных работах.

Список источников

1. Беляев А.Н. Повышение эффективности работы машинно-тракторных агрегатов на базе интегральных универсально-пропашных колесных тракторов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01. Мичуринск-научоград, 2019. 440 с.
2. Виноградов К.Н., Дурманов А.С., Киселев Н.И. и др. Обоснование параметров и конструкции универсально-пропашного трактора повышенной эффективности. Воронеж: Изд-во Воронежского гос. ун-та, 1978. 164 с.
3. Гуськов В.В., Велев Н.Н., Атаманов Ю.Е. и др. Тракторы: теория: учебник для вузов по специальности «Автомобили и тракторы». Москва: Машиностроение, 1988. 374 с.
4. Дурманов А.С., Коцарь Ю.А., Головащенко Г.А., Плужников С.В. Тракторы РТМ-160 и РТМ-160У. Конструкция, эксплуатация и техническое обслуживание. Саратов: Научная книга, 2006. 352 с.
5. Сборник агротехнических требований на тракторы и сельскохозяйственные машины / Государственный комитет СССР по производственно-техническому обеспечению сельского хозяйства; Главное управление заказов, испытания и внедрения новой техники. Москва: ЦНИИТЭИ Госкомсельхозтехники СССР, 1982. 298 с.
6. Скотников В.А., Машенский А.А., Солонский А.С. Основа теории и расчет трактора и автомобиля. Москва: Агропромиздат, 1986. 383 с.
7. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. 2-е изд., доп. и перераб. Москва: Машиностроение, 1990. 352 с.
8. Способ поворота транспортного средства со всеми управляемыми колесами: пат. № 2705413 Рос. Федерация. № 2019100113; заявл. 09.01.19; опубл. 07.11.19. Бюл. № 31. 4 с.
9. Федоренко В.Ф., Гольяпин В.Я., Мишулов Н.П. Тенденции машинно-технологической модернизации сельского хозяйства за рубежом (по материалам международной выставки «Agritechnica-2015»). Москва: Росинформагротех, 2016. 217 с.
10. Федоренко В.Ф., Гольяпин В.Я. Тракторы сельскохозяйственные за рубежом: тенденции развития и инновационные разработки // Техника и оборудование для села. 2016. № 1. С. 2–7.

References

1. Belyaev A.N. Povyshenie effektivnosti raboty mashinno-traktornykh agregatov na baze integral'nykh universal'no-propashnykh kolesnykh traktorov [Improving the efficiency of machine-tractor units based on integral universal row-crop wheeled tractors]: dissertatsiya ... doctora tekhnicheskikh nauk = Doctoral Dissertation in Engineering Sciences: 05.20.01. Michurinsk-naukograd; 2019. 440 p. (In Russ.).

2. Vinogradov K.N., Durmanov A.S., Kiselev N.I. et al. Obosnovanie parametrov i konstruksii universal'no-propashnogo traktora povyshennoj effektivnosti [Substantiation of the parameters and design of a universal row-crop tractor of increased efficiency]. Voronezh: Voronezh State University Press; 1978. 164 p. (In Russ.).
3. Gus'kov V.V., Velev N.N., Atamanov Yu.E. et al. Traktory. Teoriya: uchebnik dlya vuzov po special'nosti "Avtomobili i traktory" [Tractors. Theory: Textbook for universities in the specialty "Cars and tractors"]. Moscow: Mashinostroenie Press; 1988. 374 p. (In Russ.).
4. Durmanov A.S., Kotsar Yu.A., Golovashchenko G.A., Pluzhnikov S.V. Traktory RTM-160 i RTM-160U. Konstruktsiya, ekspluatatsiya i tekhnicheskoe obsluzhivanie [Tractors RTM-160 and RTM-160U. Construction, operation and maintenance]. Saratov: Nauchnaya Kniga; 2006. 352 p. (In Russ.).
5. Sbornik agrotekhnicheskikh trebovanij na traktory i sel'skokozyajstvennyye mashiny. Gosudarstvennyj komitet SSSR po proizvodstvenno-tekhnicheskomu obespecheniyu sel'skogo khozyajstva; Glavnoe upravlenie zakazov, ispytaniya i vnedreniya novej tekhniki [Collection of agrotechnical requirements for tractors and agricultural machines. USSR State Committee for Production and Technical Support of Agriculture; Main Directorate of Orders, Testing and Introduction of New Equipment]. Moscow: CNIITEI Goskomsel'khoztekhniki SSSR; 1982. 298 p. (In Russ.).
6. Skotnikov V.A., Mashchensky A.A., Solonsky A.S. Osnovy teorii i rascheta traktora i avtomobilya [Foundations of the theory and calculation of a tractor and a car]. Moscow: Agropromizdat Press; 1986. 383 p. (In Russ.).
7. Smirnov G.A. Teoriya dvizheniya kolesnykh mashin. 2-e izdanie, dopolnennoe i pererabotannoe [Theory of motion of wheeled vehicles. 2nd ed., revised and corrected]. Moscow: Mashinostroenie Press; 1990. 352 p. (In Russ.).
8. Sposob povorota transportnogo sredstva so vsemi upravlyaemyimi kolesami [Method of turning a vehicle with all steerable wheels]: patent 2705413 Ros. Federatsiya. № 2019100113; zayavleno 26.05.2015; opublikovano 20.10.2016. Byul. № 29 = Patent 2705413 Russian Federation. No. 2019100113, claimed 09.01.2019; published 07.11.2019. Bulletin 31. 6 p. (In Russ.).
9. Fedorenko V.F., Golyapin V.Ya., Mishurov N.P. Tendentsii mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyajstva za rubezhom (po materialam mezhdunarodnoj vystavki "Agritechnica-2015") [Trends in machine-technological modernization of agriculture abroad (based on the proceedings of the international exhibition "Agritechnica-2015")]. Moscow: Rosinformagrotech; 2016. 217 p. (In Russ.).
10. Fedorenko V.F., Golyapin V.Ya. Traktory sel'skokhozyajstvennyye za rubezhom: tendentsii razvitiya i innovatsionnye razrabotki [Agricultural tractors abroad: trends in process and innovative developments]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2016;1:2-7. (In Russ.).

Информация об авторах

- А.Н. Беляев – доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», aifkm_belyaev@mail.ru.
Т.В. Тришина – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», tata344@rambler.ru.
В.Д. Бурдыкин – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», burdykin50@mail.ru.
А.Е. Новиков – аспирант кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», novikov-alexey1@yandex.ru.
Ю.В. Дьяченко – аспирант кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», yuradyachenko@mail.ru.

Information about the authors

- A.N. Belyaev, Doctor of Engineering Sciences, Docent, Head of the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, aifkm_belyaev@mail.ru.
T.V. Trishina, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, tata344@rambler.ru.
V.D. Burdykin, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, burdykin50@mail.ru.
A.E. Novikov, Postgraduate Student, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, novikov-alexey1@yandex.ru.
Yu.V. Dyachenko, Postgraduate Student, the Dept. of Applied Mechanics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, yuradyachenko@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 07.03.2022; одобрена после рецензирования 29.04.2022; принята к публикации 16.05.2022.

The article was submitted 07.03.2022; approved after revision 29.04.2022; accepted for publication 16.05.2022.

© Беляев А.Н., Тришина Т.В., Бурдыкин В.Д., Новиков А.Е., Дьяченко Ю.В., 2022