

DOI: 10.53078/20778481\_2023\_2\_14

УДК 631.372

*Г. И. Гедроить, Т. А. Варфоломеева, С. В. Занемонский*

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СДВАИВАНИЯ КОЛЕС ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ ТРАКТОРОВ

*G. I. Gedroit, T. A. Varfolomeyeva, S. V. Zanemonski*

## IMPROVING THE DESIGN OF WHEEL DOUBLING DEVICES FOR POWER-INTENSIVE TRACTORS

### Аннотация

Проанализированы способы сдваивания колес тракторов. Показаны недостатки жесткого соединения колес одного борта. Предложена конструкция управляемого устройства для сдваивания колес, приведены преимущества ее использования.

### Ключевые слова:

трактор, колесо, сдваивание, мощность, радиус поворота.

### Для цитирования:

Гедроить, Г. И. Совершенствование конструкции устройств для сдваивания колес энергонасыщенных тракторов / Г. И. Гедроить, Т. А. Варфоломеева, С. В. Занемонский // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2023. – № 2 (79). – С. 14–21.

### Abstract

The techniques for doubling tractor wheels have been analyzed. The disadvantages of rigid connection of wheels of one tractor side are shown. A design of the controlled device for doubling wheels is proposed, and the advantages of its use are given.

### Keywords:

tractor, wheel, doubling, power, turning radius.

### For citation:

Gedroit, G. I. Improving the design of wheel doubling devices for power-intensive tractors / G. I. Gedroit, T. A. Varfolomeyeva, S. V. Zanemonski // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2023. – № 2 (79). – P. 14–21.

### Введение

Проходимость является одним из важнейших эксплуатационных качеств сельскохозяйственных тракторов [1]. Эта проблема обостряется при проведении ранневесенних и уборочных полевых работ, в дождливые периоды, при работе на торфяно-болотных почвах. Для серийных тракторов с целью улучшения проходимости применяют балластирование, догрузку тракторов агрегатируемыми машинами, заполнение ка-

мер шин ведущих колес жидкостью, догрузку ведущих мостов с помощью гидравлических и механических догрузителей тракторов. Перечисленные способы направлены преимущественно на улучшение тягово-сцепных свойств тракторов, т. к. приводят к увеличению сцепного веса. Эта же задача решается и при сдваивании колес тракторов. Однако в руководствах по эксплуатации тракторов «Беларус» отмечается, что основная задача сдваивания колес – уменьшение давления на почву. Этому

способствуют также такие технические решения, как снижение давления воздуха в шинах до допустимых значений, установка полугусеничных ходов, широкопрофильных шин с повышенными деформационными свойствами.

Максимальное давление движителей машин является одним из нормативных показателей по ГОСТ 26955–86 [2, 3]. Деградация почв и снижение урожайности сельскохозяйственных культур под воздействием ходовых систем в последние десятилетия достаточно активно изучаются. Снижение урожайности составляет 5 %...30 % [1]. Особенно значительно снижается урожайность на поворотных полосах. Например, сбор ячменя на них ниже, чем на основном массиве, на 32 %...76 %, озимой ржи – на 53 %...67 % [4]. Это связано и с многократным воздействием ходовых систем машин.

Сдваивание колес тракторов приводит к увеличению радиусов поворота, а следовательно, к расширению поворотных колес. Кроме того, увеличиваются нагрузки на отдельные узлы трансмиссии, возникают дополнительные паразитные потери мощности, ограничивается движение тракторов по дорогам.

Цель работы – оценить существующие способы сдваивания колес тракторов, предложить технические решения по совершенствованию устройств для сдваивания колес.

### **Основная часть**

Сдваивание колес тракторов широко применяется в мировой практике. Фирмы Case IH, John Deere, Challenger и другие поставляют мощные тракторы со сдвоенными колесами с заводов, предлагают оборудование для обеспечения сдваивания. Например, компания Gebruder Schaad (Швейцария) выпускает для доставки и монтажа колес в полевых условиях специальные прицепы с электрогидравлическими кранами.

ОАО «МТЗ» предлагает установку сдвоенных колес на тракторы тягового класса 1,4 и выше. Для тракторов «Беларус-3022/3522» допускается сдваивание передних и задних колес. На практике сдваивание колес производится преимущественно на указанных тракторах. Это объясняется тем, что они широко применяются на энергоемких операциях, связанных с обработкой почвы: комбинированная обработка, чизелевание, культивация, вспашка, посев комбинированными агрегатами. Имеется соответствующая система машин и обеспечивается высокая производительность. Тракторы «Беларус-3022/3522» относятся к наиболее энергонасыщенным в типоразмерном ряду ОАО «МТЗ». Значение энергонасыщенности составляет соответственно 1,939 и 2,115 кВт/кН [5].

При сдваивании задних колес тракторов «Беларус» ограничивается скорость (20 км/ч), суммарная грузоподъемность сдвоенных шин не должна превышать грузоподъемность одинарной шины более чем в 1,7 раза, давление в шинах наружных колес должно быть ниже в 1,2–1,25 раза, чем во внутренних, и не должно быть меньше допустимого для одинарных шин. Запрещается пользоваться разделенными тормозами. Сдваивание передних колес допускается в исключительных случаях во избежание выхода из строя узлов переднего моста, рулевого управления. Скорость трактора не должна превышать 10...12 км/ч. Поэтому преимущественно используют только сдваивание задних колес.

Получил распространение способ жесткого сдваивания колес (рис. 1). При этом оба колеса одного борта вращаются с одинаковыми угловыми скоростями во всех режимах движения.

Наиболее неблагоприятным режимом движения тракторов со сдвоенными колесами является непрямолинейное движение, особенно повороты, развороты с малыми радиусами, неровная поверхность, каменистость почвы. Увели-

чивается воздействие на почву, возникает циркуляция мощности. В частности, при криволинейном движении между сдвоенными колесами одного борта в ведущем режиме всегда возникает циркуляция мощности. Внешнее по отношению к центру поворота колесо катится с юзом. Это приводит к среза-

нию верхних слоев почвы и увеличению колеобразования. Степень относительного скольжения сдвоенных колес зависит от кинематических параметров процесса движения, конструктивных особенностей движителя и характеристик почвы.

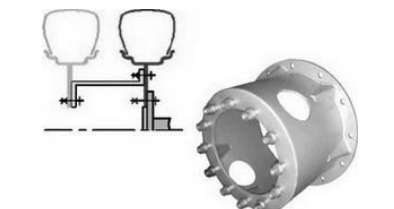
Мягкие		
«З» Зацепы	«К» Крюки	«Р» Ригель центральный
Конструкция системы «проставка»		Конструкция системы «обечайка»
		
Жесткие		
«М» Муфта	«Б» Барабан	«Д» Две ступицы
Разъемная конструкция	Разъемные, полуразъемная конструкция	Разъемная конструкция
		

Рис. 1. Способы сдваивания колес тракторов

При движении на повороте ведущих и ведомых колес возникают угловые деформации как почвы, так и шин, нарастающие по мере увеличения поворачивающего момента до тех пор, пока в пятне контакта шины с опорной поверхностью сохраняется сцепление. В пределах упругой деформации шина разворачивается относительно пятна контакта на некоторый угол. Деформация шины растет с увеличением прило-

женного к ней момента до потери сцепления с опорной поверхностью. С увеличением момента проскальзывание шины распространяется от краев к центру пятна контакта. При некотором значении момента или угла поворота в зависимости от агрофона, влажности почвы, глубины колеи и конструктивных параметров шины ее элементы начинают проскальзывать с разной интенсивностью. При криволинейном движении

в случае использования известных систем сдвигания и страивания колес негативное воздействие движителей на почву оказывается существенным [6].

Схема поворота трактора со сдвоенными задними колесами приведена на рис. 2.

При равной угловой скорости вращения сдвоенных колес одного бор-

та увеличенная скорость внешнего по отношению к центру поворота колеса равносильна увеличению его кинематического радиуса  $r_k$ . Таким образом,  $r_{k1} < r_{k2}$  и  $r_{k3} < r_{k4}$ . Соответственно, будут разными и значения скоростей  $V_1-V_4$  (индексами 1-4 обозначены номера колес) (см. рис. 2).

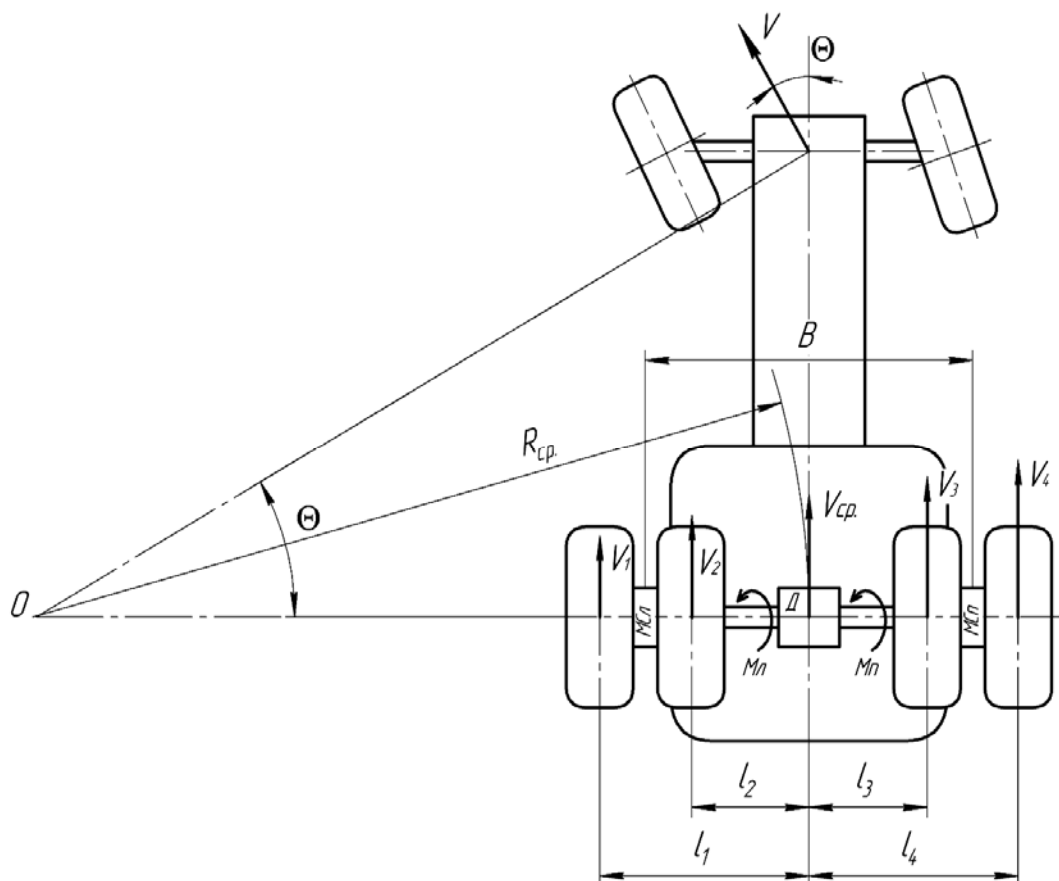


Рис. 2. Схема поворота трактора со сдвоенными ведущими задними колесами:  $R_{cp}$  – радиус поворота трактора по продольной оси;  $V_1-V_4$  – линейные скорости движения ведущих колес;  $V_{cp}$  – поступательная скорость трактора; 11–14 – координаты установки ведущих колес относительно продольной оси трактора;  $M_n, M_n$  – крутящий момент на левой и правой полуосях;  $MC_n, MC_n$  – левая и правая соединительные муфты;  $B$  – ширина колеи

Увеличение кинематического радиуса внешнего колеса может быть определено из выражения [6]

$$\Delta r_k = (1 - \delta) \cdot F_k / \lambda_\tau,$$

где  $F_k$  – касательная сила тяги, реализуемая колесом, Н;  $\lambda_\tau$  – тангенциальная жесткость шины, Н/м;  $\delta$  – буксование.

Значение касательной силы тяги определяется из выражения

$$F_k = \varphi \cdot G_k,$$

где  $\varphi$  – коэффициент сцепления;  $G_k$  – нормальная нагрузка на колесо, Н.

Связь коэффициентов  $\delta$  и  $\varphi$  для колесных тракторов можно принять в

соответствии с рис. 3 [7].

Значения тангенциальной жесткости для ряда тракторных шин приведены в [8].

Потери мощности на тангенциальную деформацию наружного колеса можно определить из выражения [6]

$$N_{\tau} = \omega \cdot \Delta r_{\kappa} \cdot F_{\kappa} = (1 - \delta) \cdot \frac{\omega \cdot F_{\kappa}^2}{\lambda_{\tau}}, \quad (1)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения полуоси,  $c^{-1}$ .

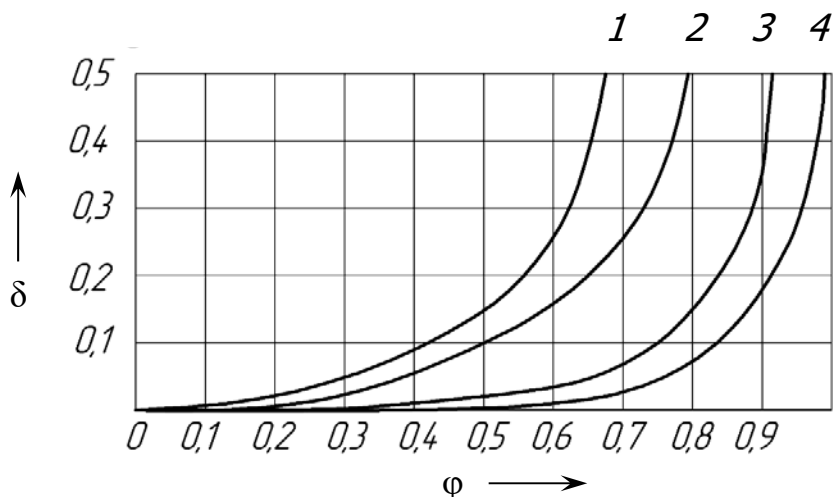


Рис. 3. Обобщенные зависимости коэффициента сцепления от буксования: 1 – почва, подготовленная под посев; 2 – стерня; 3 – плотная почва, клеверное поле, луг; 4 – асфальт, бетон

При жестком соединении сдвоенных колес угловые скорости вращения полуосей (бортов) определяются по зависимостям:

– левой

$$\omega_{л} = \frac{V_{\text{ср}} \cdot \left( 1 - \frac{\text{tg}\theta}{L} \cdot \left( \frac{l_1 + l_2}{2} \right) \right)}{r_{\kappa} \cdot (1 - \delta)}; \quad (2)$$

– правой

$$\omega_{п} = \frac{V_{\text{ср}} \cdot \left( 1 + \frac{\text{tg}\theta}{L} \cdot \left( \frac{l_3 + l_4}{2} \right) \right)}{r_{\kappa}},$$

где  $\theta$  – угол поворота управляемых колес, град;  $L$  – колесная база трактора, м;  $l_1$ – $l_4$  – координаты установки ведущих колес относительно продольной оси трактора, м.

После подстановки выражений (2) и (3) в (1) получим формулы для оценки

дополнительных потерь мощности на тангенциальную деформацию наружных шин при жестком соединении сдвоенных колес

$$N_{\tau л} = \frac{F_{\kappa}^2}{\lambda_{\tau}} \cdot \frac{V_{\text{ср}} \cdot \left( 1 - \frac{\text{tg}\theta}{L} \cdot \left( \frac{l_1 + l_2}{2} \right) \right)}{r_{\kappa}}; \quad (4)$$

$$N_{\tau п} = \frac{F_{\kappa}^2}{\lambda_{\tau}} \cdot \frac{V_{\text{ср}} \cdot \left( 1 + \frac{\text{tg}\theta}{L} \cdot \left( \frac{l_3 + l_4}{2} \right) \right)}{r_{\kappa}}. \quad (5)$$

Исследуемые потери мощности зависят от величины реализуемой касательной силы тяги и тангенциальной жесткости колеса и не зависят от величины буксования.

Силовые потоки в ведущем мосту зависят от конструкции и работы дифференциала. На тракторах «Беларус» и других применяются, как правило, симметричные конические дифферен-

циалы. На энергонасыщенных тракторах «Беларус» при работе используют фиксируемое автоматическое включение блокировки дифференциала заднего моста. Отключение блокировки дифференциала происходит при повороте направляющих колес трактора на угол свыше 13 град, скорости движения свыше 16 км/ч, а также при нажатии на одну либо обе педали тормозов. При стремлении к снижению ширины поворотных полос углы поворота

управляемых колес будут значительно выше 13 град и дифференциал автоматически разблокируется.

Расчет значений потерь мощности по формулам (4) и (5) при различных углах поворота  $\theta$  представлен на рис. 4 при работе трактора «Беларус-3022 ДЦ», оборудованного сдвоенными задними шинами 620/70R42, в агрегате с плугом на стерне колосовых ( $f = 0,09$ ;  $\varphi = 0,7$ ). Скорость движения – 2,5 м/с.

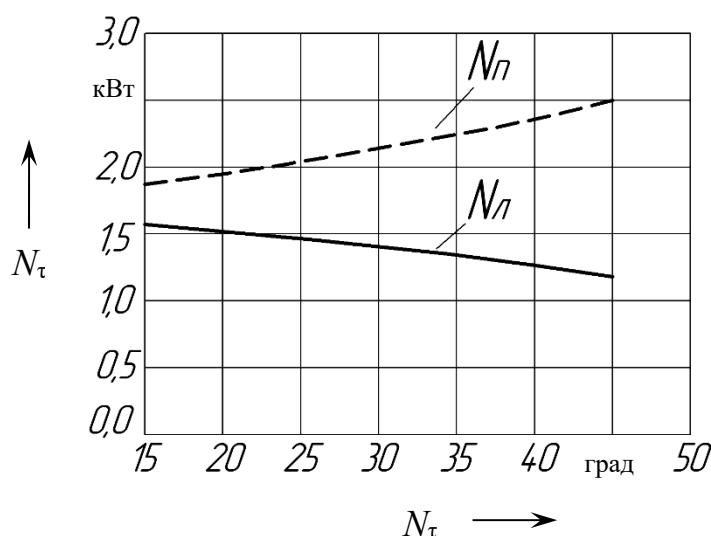


Рис. 4. Изменение потерь мощности в шинах жестко соединенных сдвоенных колес от угла поворота управляемых колес

Видно, что в шинах левого (внутреннего) борта дополнительные потери мощности составляют 1,6...1,2 кВт, в шинах правого борта – 1,9...2,5 кВт. То есть суммарные дополнительные потери мощности на повороте при жестком соединении колес составляют 3,4...3,7 кВт.

Потери мощности в шинах левого борта снижаются при увеличении угла поворота, что объясняется снижением угловой скорости вращения полуоси. Увеличение относительной угловой скорости правого борта приводит к увеличению потерь мощности с увеличением угла поворота.

Были оценены дополнительные

потери мощности на повороте трактора с жестко соединенными сдвоенными колесами. Подобные процессы могут возникать и при прямолинейном движении из-за разных почвенных условий под шинами, малых углах поворота управляемых колес. Однако они носят несистемный характер. На поворотах при выполнении перечисленных ранее операций (связаны с почвообработкой) орудие выглубляется, тяговое сопротивление падает, и нет потребности в высокой силе тяги. Поэтому возможно отключение внешних колес. Это снизит рассмотренные потери мощности, улучшит другие показатели. Свободное ка-

чение внешних колес уменьшит их разрушительное воздействие на почву, повысит тяговый и КПД, который при снижении тяговой нагрузки падает. Снизится также минимальный радиус поворота трактора. По полученным данным, для трактора «Беларус-2822» с одинарными колесами он составил 5,9 м, а при жестком сдваивании задних колес – 6,3 м.

Отключение наружных сдвоенных колес будет способствовать уменьшению износа шин, снижению нагрузки на полуоси, подшипники и другие элементы трансмиссии. Последнее можно объяснить тем, что при отключении наружных колес касательная сила тяги сместится из области пятна контакта в межколесном пространстве в область пятна контакта внутреннего колеса, т. е. уменьшится плечо силы, действу-

ющей на полуось. Снизится также момент, препятствующий повороту и равный произведению разности окружных сил на колесах разных бортов на расстояние между ними [9]. Отключение наружных колес позволит также улучшить показатели при внутривозвращенных переездах, выполнении работ с облегченной нагрузкой. Предлагаемая конструкция управляемого устройства для сдваивания колес приведена на рис. 5.

В устройстве при заблокированном состоянии крутящий момент передается на наружное и внутреннее колеса. Водитель может разблокировать устройство как при прямолинейном, так и при криволинейном движении. Наружное колесо отсоединяется от трансмиссии трактора и переводится в ведомый режим [10].

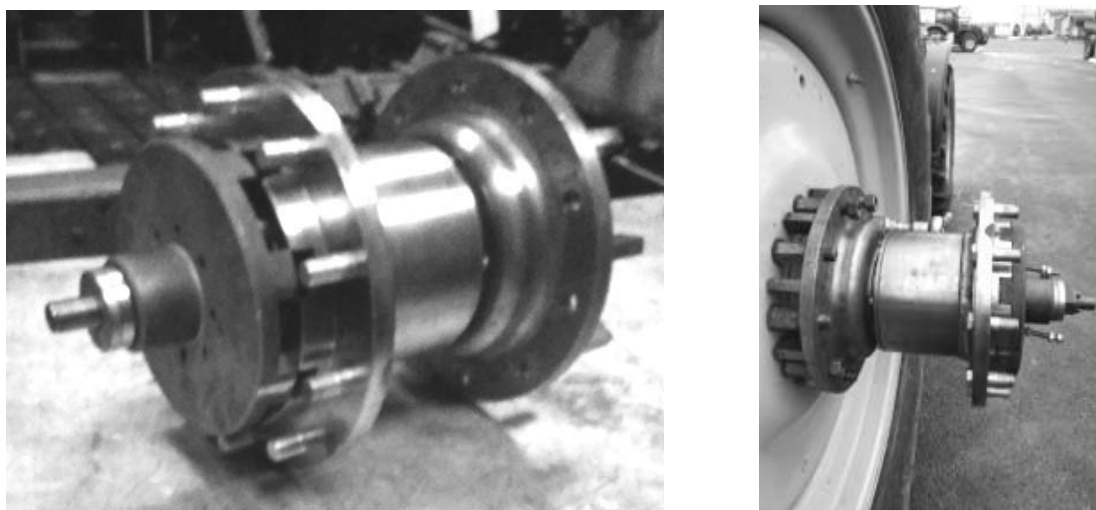


Рис. 5. Управляемое устройство для сдваивания колес

### *Заключение*

Получили распространение конструкции жесткого сдваивания задних колес тракторов. При работе это приводит к дополнительным деформациям шин одного борта. Потери мощности для энергонасыщенных тракторов составляют 3,4...3,7 кВт.

Предложена конструкция управ-

ляемого устройства для сдваивания колес. Ее применение позволит улучшить мощный баланс трактора, уменьшить ширину поворотных полос и уровень воздействия ходовых систем на почву, износ шин, нагрузки на элементы трансмиссии, повысить эффективность использования тракторов при внутривозвращенных переездах и работе с невысокими тяговыми нагрузками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Скотников, В. А.** Проходимость машин / В. А. Скотников, А. В. Пономарев, А. В. Климанов. – Минск: Наука и техника, 1982. – 328 с.
2. **Гедроить, Г. И.** Допустимый уровень воздействия ходовых систем сельскохозяйственной техники на почву / Г. И. Гедроить, Ю. И. Томкунас, Ф. Д. Четкин // Агропанорама. – 2013. – № 5. – С. 10–15.
3. **Гедроить, Г. И.** Агроэкологические свойства тракторов «Беларус» / Г. И. Гедроить, С. В. Занемонский, В. С. Леванюк // Актуальные проблемы и перспективы развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК: сб. науч. ст. II Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 9–10 июня 2022 г. – Минск: БГАТУ, 2022. – С. 99–103.
4. **Симченков, Г. В.** Новое в обработке почвы / Г. В. Симченков, Ф. П. Цыганов, А. П. Коробач. – Минск: Урожай, 1988. – 80 с.
5. О классификации энергонасыщенных сельскохозяйственных тракторов и расширении их тяговых показателей / П. А. Амельченко [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 7. – С. 3–7.
6. **Бобровник, А. И.** Показатели трактора «Беларус» со двояными колесами при повороте / А. И. Бобровник, Т. А. Варфоломеева // Агропанорама. – 2019. – № 3. – С. 5–10.
7. **Гуськов, В. В.** Тракторы: в 2 ч. Ч. 2: Теория / В. В. Гуськов. – Минск: Высшая школа, 1977. – 384 с.
8. **Бойков, В. П.** Шины для тракторов и сельскохозяйственных машин / В. П. Бойков, В. П. Белковский. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 240 с.
9. **Сазонов, И. С.** Теория автомобиля: учебное пособие / И. С. Сазонов, В. А. Ким, Ки Ёнг Чой. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 164 с.
10. Устройство для улучшения опорно-сцепной проходимости движителя: пат. ВУ 17002 / М. А. Прищепов, С. К. Карпович, А. И. Бобровник, В. Г. Ермаленок, В. С. Лешков, Т. А. Варфоломеева. – Опубл. 30.04.2013.

*Статья сдана в редакцию 19 апреля 2023 года*

**Геннадий Иванович Гедроить**, канд. техн. наук, доц., Белорусский государственный аграрный технический университет. Тел.: +375-291-85-14-50. E-mail: kaf.tia@bsatu.by.

**Татьяна Алексеевна Варфоломеева**, ст. преподаватель, Белорусский государственный аграрный технический университет. Тел.: +375-297-61-77-23. E-mail: tata.varfalameyeva@yandex.by.

**Сергей Владимирович Занемонский**, ст. преподаватель, Белорусский государственный аграрный технический университет. Тел.: +375-292-66-53-95. E-mail: zanemanoff@mail.ru.

**Gennady Ivanovich Gedroit**, Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Belarusian State Agrarian Technical University. Tel.: +375-291-85-14-50. E-mail: kaf.tia@bsatu.by.

**Tatiana Alekseevna Varfolomeyeva**, senior lecturer, Belarusian State Agrarian Technical University. Tel.: +375-297-61-77-23. E-mail: tata.varfalameyeva@yandex.by.

**Sergey Vladimirovich Zanemonski**, senior lecturer, Belarusian State Agrarian Technical University. Tel.: +375-292-66-53-95. E-mail: zanemanoff@mail.ru.