Industrial Complex; Far Eastern State Agrarian University; 86, Politekhnicheskaya str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia; phone number: 8(4162)52-63-76; e-mail: ji.tor@mail.ru;

***Zoya F. Krivutsa**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, the Head of the Department of Physics and Computer Science; Far Eastern State Agrarian University; 86, Politekhnicheskaya str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia; phone number: 8(4162)52-32-27; e-mail: zfk20091@rambler.ru;*

***Viacheslav G. Evdokimov**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of General Professional Disciplines; Far Eastern Higher Combined Arms Command School; 158, Lenina str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia; phone number: 89146076608; e-mail:*

zfk 20091@rambler.ru;

***Elena S. Polikutina**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Blagoveshchensk Polytechnic College; 16, Chaikovskogo str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia; phone number: 89146076608; e-mail: zfk 20091@rambler.ru;*

***Natalia F. Dvoynova**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Life Safety; Sakhalin State University; 33, Komunistichesky Prospekt, Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin region, Russia; e-mail: dnfsach@yandex.ru;*

***Olga A. Kuznetsova**, Graduate Student of the Department of Transport and Power Facilities and Mechanization of Agrarian and Industrial Complex; Far Eastern State Agrarian University; 86, Politekhnicheskaya str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia; phone number: 8(4162)52-32-27; e-mail: zfk20091@rambler.ru.*

УДК 631.372:629.114.2
DOI: 10.24412/1999-6837-2021-1-98-107

Кушнарев А.Н., аспирант;
Шуравин А.А., аспирант;
Митрохина О.П., канд. техн. наук, доцент;
Кидяева Н.П., канд. техн. наук, доцент;
Поликутина Е.С., канд. техн. наук;
Щитов С.В., докт. техн. наук, профессор;
Кузнецов Е.Е., докт. техн. наук, доцент

ИССЛЕДОВАНИЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ АГРЕГАТОВ

© Кушнарев А.Н., Шуравин А.А., Митрохина О. П., Кидяева Н.П., Поликутина, Е.С., Щитов С.В., Кузнецов Е.Е.,2021

Резюме. При перевозке грузов сельскохозяйственного назначения с полей, как показывают исследования, на движение, связанное с поворотами, приходится 20-25% длины маршрута. При этом необходимо отметить, что условия дорог сельскохозяйственного назначения, при которых приходится выполнять транспортные перевозки, не всегда соответствуют необходимым требованиям безопасности, в частности, ширина проезжей части не позволяет использовать наиболее эффективные многозвенные тракторно-транспортные агрегаты (ТТА)

в связи с невозможностью выполнения ими поворотов при большой длине тракторного поезда, так как при этом увеличивается ширина транспортного коридора и создаются неблагоприятные условия для безопасного движения встречного транспорта. В этих условиях возникает необходимость снижения ширины транспортного коридора в условиях поворотов небольшого радиуса, что возможно за счёт оптимизации конструктивных и расширения технологических параметров тягово-сцепных устройств прицепных звеньев ТТА. В статье приводятся теоретические и экспериментальные исследования устройства, предназначенного для оптимизации транспортного коридора многозвенного ТТА.

Ключевые слова: трактор, прицеп, поворот, радиус, транспортный коридор, оптимизация.

UDC 631.372:629.114.2

A.N.Kushnarev, graduate student;
A. A. Shuravin, graduate student;
O.P. Mitrohina, Cand. Tech. Sci., Associate Professor;
N. P. Kidyaeva, Cand. Tech. Sci., Associate Professor;
E.S. Polikutina, Cand. Tech. Sci.;
S.V. Shchitov, Dr. Tech. Sci., Professor;
E.E. Kuznetsov, Dr. Tech. Sci., Associate Professor

STUDIES OF CURVOLINEAR MOTION OF TRANSPORT UNITS

Abstract. Studies show that the movement associated with turns accounts for 20-25% of the route length when transporting agricultural goods from the fields. It should be noted that the conditions of agricultural roads, where transportation takes place, do not always meet the necessary safety requirements. In particular, the width of the carriageway does not allow the use of the most efficient multi-link tractor-transport units due to the impossibility of fulfilling turns with a long tractor train units as it causes the increase of the transport corridor width and creates unfavorable conditions for the safe oncoming traffic movement. Thus, it becomes necessary to reduce the transport corridor width in conditions of small radius turns, which is possible due to the design optimization and the technological parameters expansion of the towing devices of the trailed links of tractor-transport units. The article presents theoretical and experimental studies of the device designed to optimize the transport corridor of multi-link tractor-transport units.

Key words: tractor, trailer, turn, radius, transport corridor, optimization.

Введение. Результаты работ авторов [2,3], посвящённых исследованиям в области применения технологий возделывания сельскохозяйственных культур, подтверждают, что на долю транспортно-технологического обеспечения приходится до 50-70% всего объёма выполняемых операций. Поэтому, в зависимости от расстояния и используемой технологии, различают следующие виды перевозок: внутриусадебные, внутрихозяйственные и внехозяйственные [4]. Как показывают проведенные исследования, основная доля транспортных работ приходится именно на внутрихозяйственные перевозки, которые по удельному весу составляют до 65-70% по объёму и до 30% по грузообороту всех сельскохозяйственных перевозок. В сельскохозяйственном производстве перевозки по срочности и периодичности подразделяются на две основные группы: грузы, подлежащие транспортировке в

ограниченные сроки, которые лимитируются агротехнологическими требованиями (либо скоропортящиеся) и грузы, перевозка которых может быть осуществлена в более длительные сроки.

Как правило, перемещение грузов, подлежащих перевозке для нужд сельхозтоваропроизводителей в ограниченные сроки, осуществляется по грунтовым сельскохозяйственным дорогам, имеющим низкий коэффициент сцепления или слабонесущее дорожное покрытие гравийного типа в межсезонный период вследствие обильного количества выпадающих осадков, что характерно для условий Амурской области.

В крестьянско-фермерских хозяйствах (КФХ), на долю которых приходится до 27% всей продукции растениеводства, перевозку означенных грузов осуществляют, в основном, при помощи колёсных тракторов, агрегатированных прицепами. При этом необходимо отметить, что ширина проезжей части на таких дорогах, принадлежащих к пятой технической категории, составляет до 4,5 метров при двухполосном движении и не отвечает предъявляемым требованиям, являясь основной причиной, не позволяющей использовать одновременно несколько прицепов в составе многозвенного ТТА.

Это объясняется тем, что при движении в поворотах увеличивается ширина транспортного коридора, что, в конечном итоге, влияет на безопасность движения. Поэтому исследования, посвященные эффективности тракторно-транспортных агрегатов при использования многозвенных тракторных поездов являются актуальными. Добиться этого возможно за счёт использования специальных тягово-сцепных устройств оригинальной конструкции, позволяющих оптимизировать ширину транспортного коридора в движении.

Целью данной работы является повышение эффективности использования тракторно-транспортных агрегатов за счёт использования многозвенных поездов.

Условия и методы исследования. Экспериментальные исследования по использованию многозвенных тракторно-транспортных агрегатов проводились в реальных условиях непосредственной эксплуатации в Благовещенском районе Амурской области. В качестве объекта исследования был применён трактор класса 1,4 и прицеп 2ПТС-4 в серийном варианте исполнения, обычно используемом для перемещения грузов в небольших КФХ. Для сравнения, на опытном ТТА, который был также сформирован на базе колёсного трактора класса 1,4 и прицепа 2ПТС-4, было установлено устройство (рис.1), позволяющее оптимизировать ширину транспортного коридора.

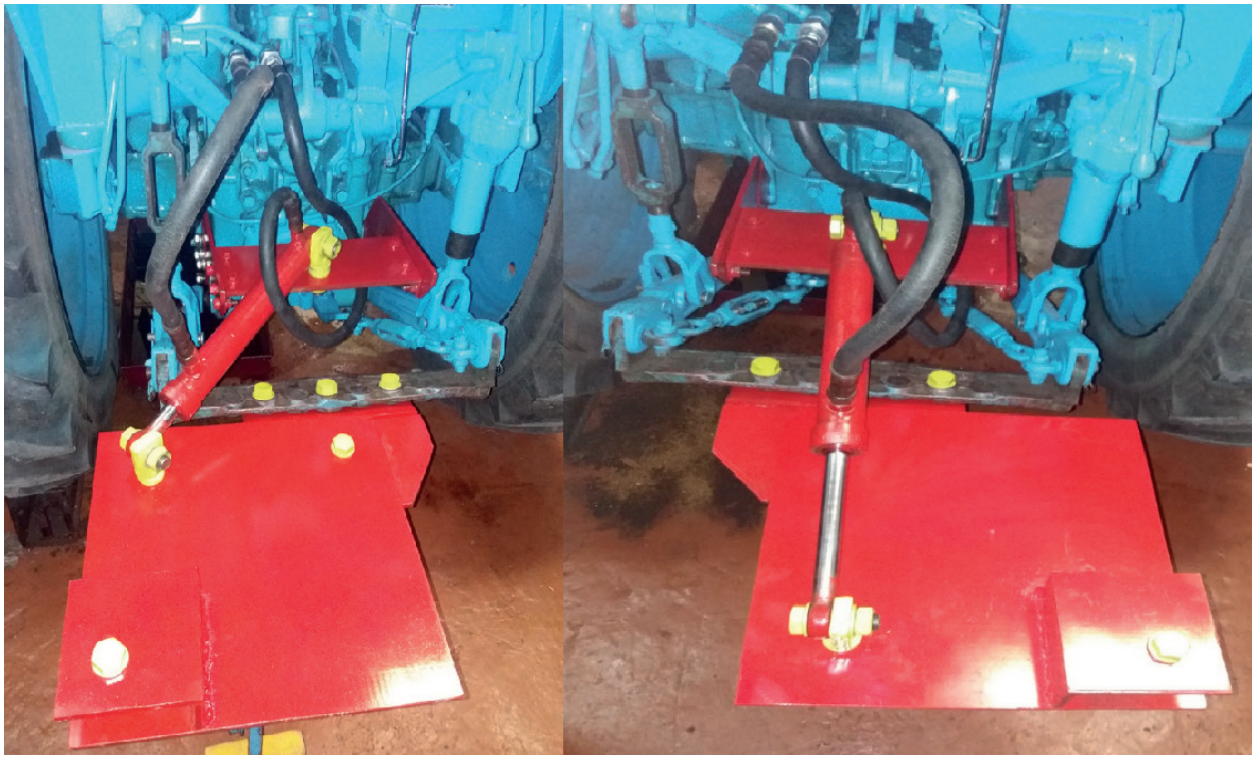


Рис. 1. Общий вид и установочные режимы устройства для снижения радиуса поворота прицепа.

Теоретические исследования проводились с использованием математических методов, а также основных положений теоретической и прикладной механики [5,6]. При проведении экспериментальных исследований использовался метода планирования многофакторного эксперимента и математического моделирования [1].

Анализ и обработка данных, полученных в результате исследований осуществлялись с использованием методов математической статистики, с использованием ПК и программ «Excel», «KPS», «Statistika-7,0». Фрагмент проведения производственных экспериментов представлен на рисунке 2.

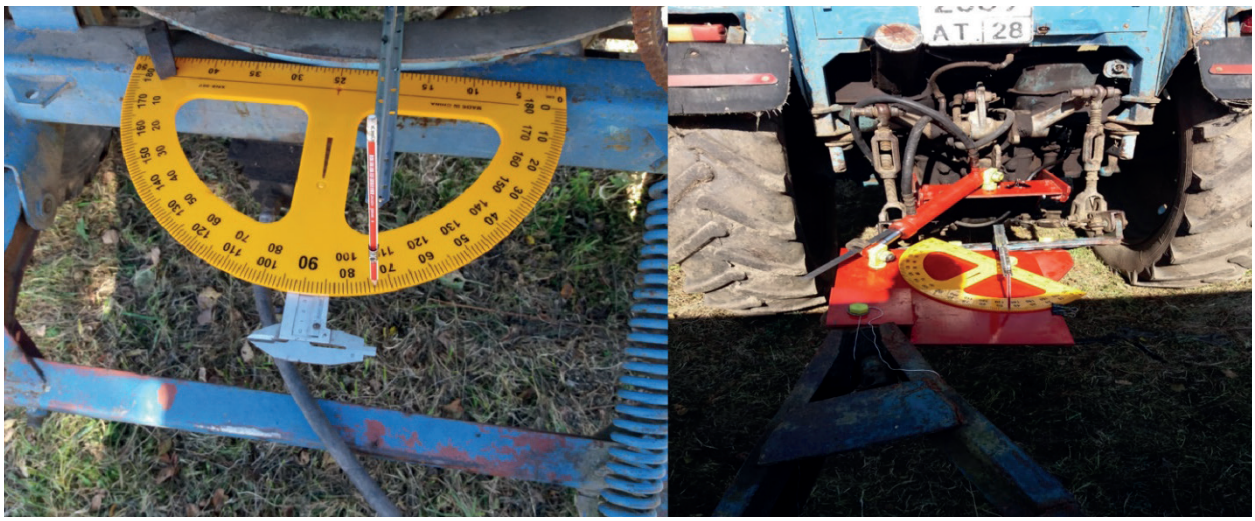


Рис. 2. Фрагмент проведения экспериментов.

Результаты исследований. Конструктивной особенностью при движении тракторно-транспортных агрегатов, агрегатированных колёсными тракторами класса 1,4 является то, что в повороте трансмиссионной группой автоматически отключается блокировка колёс, что резко снижает его тягово-сцепные качества. Для устранения данного недостатка, при использовании данных исследований [7,8,10], предложено гидрорегулируемое буксирно-догружающее устройство по патенту РФ [9], ранее представленное на рисунке 1, позволяющее перемещать точку прицепа с одновременным догружением колеса, находящегося в условиях сниженных сцепных качеств.

При работе устройства, как показали проведённые исследования, перемещение точки прицепа происходит по 1/4 дуге окружности (рис. 3).

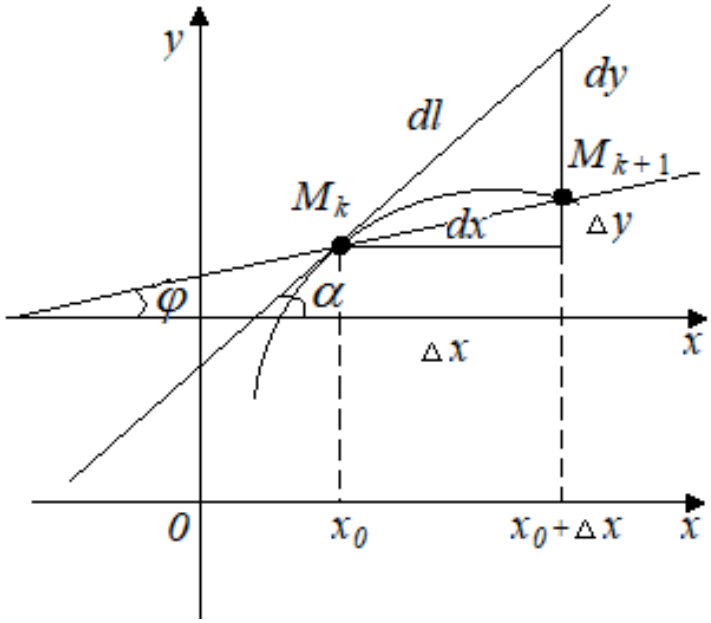


Рис. 3. Схема геометрического смысла производной.

dl - дифференциал длины дуги; *dx* - дифференциал аргумента; *dy* - дифференциал функции; Δx - приращение аргумента; Δy - приращение функции; φ - угол между секущей и плоскостью; α - угол между касательной и плоскостью.

Для нахождения длины дуги, представляющей траекторию, формируемую при работе устройства, воспользуемся параметрическими уравнениями окружности:

$$\begin{cases} x = R \cdot \cos t, \\ y = R \cdot \sin t, \end{cases} \qquad 0 \le x \le R. \tag{1}$$

Определим пределы интегрирования

$$R = R\cos t \quad / \quad 0 = R\cos t$$
$$\cos t = 1 \quad / \quad \cos t = 0$$
$$t_1 = 0 \quad / \quad t_2 = \frac{\pi}{2}$$

Следовательно, $0 \le t \le \frac{\pi}{2}$

Исходя из геометрического смысла дифференциал дуги кривой (рисунок 3) можно утверждать, что

$$l_{дуги} = \int_a^b \sqrt{\left(\varphi'(t)\right)^2 + \left(\psi'(t)\right)^2}\ dt = l(b) - l(a) \tag{2}$$

Зная, что $\begin{cases} dx = -R \cdot \sin t, \\ dy = R \cdot \cos t, \end{cases}$ и применяя формулу (2), получим

$$l = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{(-R)^2 \cos^2 t + R^2 \sin^2 t}\ dt = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{R^2\left(\cos^2 t + R^2 \sin^2 t\right)}\, dt =$$

$$= \int_0^{\frac{\pi}{2}} R\, dt = R\, t \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = R\left(\frac{\pi}{2} - 0\right) = \frac{R\pi}{2} \tag{3}$$

Таким образом, в общем случае ширину транспортного коридора, образуемого трактором и прицепом, можно определить по уравнению

$$H = R_{нт} - R_{вп} \tag{4}$$

где $R_{нт}$ - наружный радиус поворота трактора, м;

$R_{вп}$ - внутренний радиус поворота прицепа, м.

Уравнение (4) показывает, что для снижения ширины транспортного коридора необходимо снизить внутренний радиус поворота прицепа. Этот эффект возможно получить за счёт смещения точки сцепления прицепа с трактором.

Величина перемещения точки прицепа относительно трактора определится на основании проведённых теоретических исследований следующим образом.

$$L_1 = L \cdot \cos\alpha = \int_0^{\frac{\pi}{2}} R\cos\alpha\, dt = R\cos\alpha \cdot t \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = R \cdot \cos\alpha\left(\frac{\pi}{2} - 0\right) = \frac{R\cos\alpha\,\pi}{2} \tag{5}$$

Тогда ширина транспортного коридора будет равна

$$H = R_{нт} - \left(R_{вп} + L_1\right) = R_{нт} - \left(R_{вп} + \frac{R\cos\alpha\,\pi}{2}\right) \tag{6}$$

Таким образом, использование предлагаемого устройства позволит снизить величину транспортного коридора за счёт увеличения внутреннего радиуса поворота прицепа.

Результаты экспериментальных исследований в виде 3D-моделей представлены на рисунке 4 и 5.

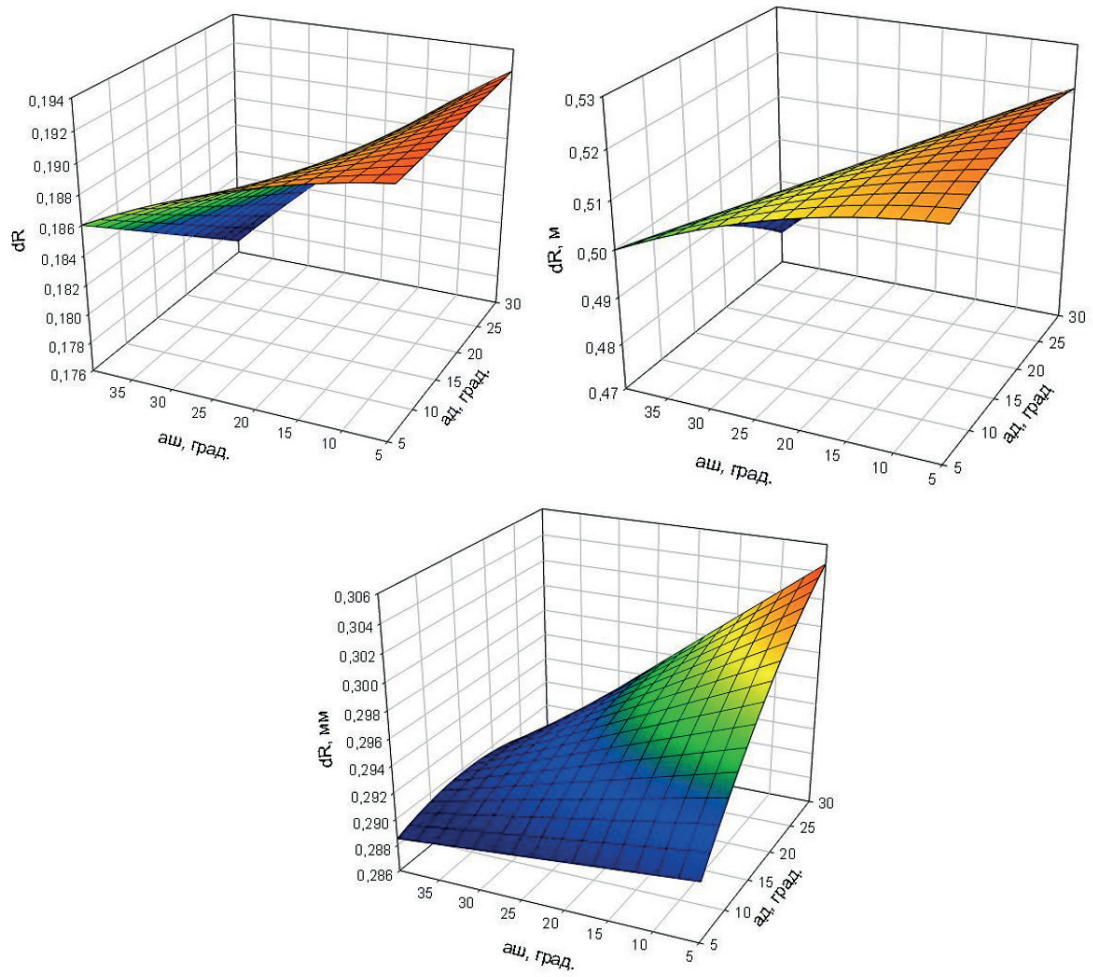


Рис. 4. Поверхности отклика (3D-модели) радиуса поворота ТТА в зависимости от конструктивно-технологических параметров предлагаемого устройства.

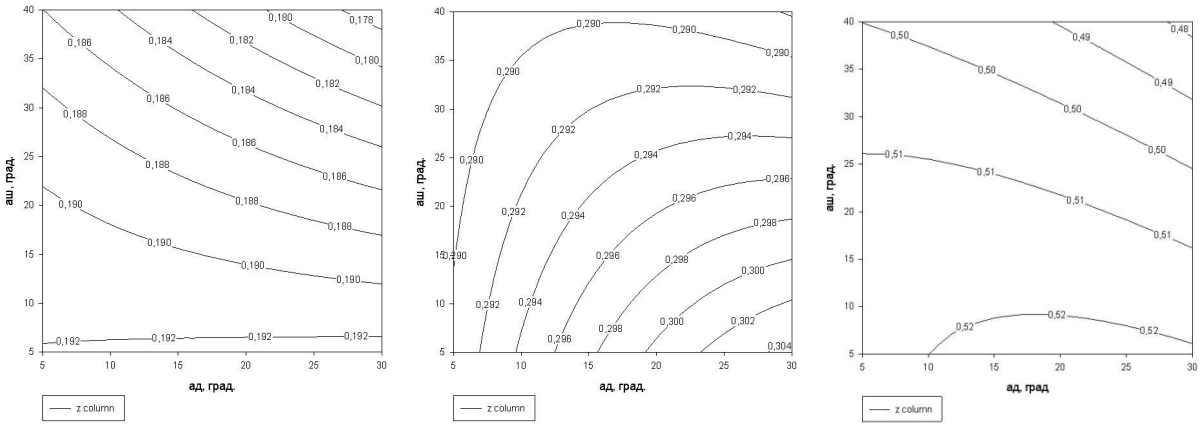


Рис. 5. Сечение поверхности отклика радиуса поворота ТТА в зависимости от конструктивно-технологических параметров предлагаемого устройства.

Заключение. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили получить подтверждение, что использование предлагаемого устройства в виде тягово-сцепного устройства снижает радиус поворота экспериментального трактора по сравнению с серийным на 15-20% и уменьшает ширину транспортного коридора в зависимости от величины радиуса поворота дороги. Установленные результаты по уточнению теории взаимодействия прицепных звеньев ТТА, оборудованного гидрорегулируемым буксирным устройством колёсного трактора, с поверхностью движения и изменяемым сцепным весом внедрены в технологию и используются в учебном процессе на кафедре транспортно-энергетических средств и механизации агропромышленного комплекса ФГБОУ ВО ДальГАУ.

Список литературы

1. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский— Москва: Наука, 1976. - 279 с.

2. Алдошин, Н.В. Повышение производительности при перевозке сельскохозяйственных грузов / Н.В. Алдошин, А.С. Пехутов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. –2012. - №4. - С. 26-27.

3. Гуськов, Ю.А. Совершенствование сборочно-транспортного процесса и технических средств на заготовке грубых кормов: автореф. дис. на соиск. учён. степ. д-ра техн. наук: 05.20.01/ Гуськов Юрий Александрович; Новосиб. гос. аграр. ун-т.– Новосибирск, 2007. – 34 с.

4. Кузнецов, Е.Е. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: монография /Е.Е. Кузнецов, С.В. Щитов. – Благовещенск: изд-во ДальГАУ, 2017. - 272 с.

5. Способ корректирования траектории движения сельскохозяйственного транспортно-технологического комплекса / Е. Е. Кузнецов, З. Ф. Кривуца, А. Н. Кушнарев, С. Н. Марков // Актуальные вопросы науки и техники : сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-практ. конф. (Самара, 11 апреля 2019 г.). – Самара : Инновационный центр развития образования и науки (ИНРОН), 2019. – Вып. VI. – С. 26 - 29..

6. Кушнарев, А.Н. Совершенствование использования многозвенных тракторно-транспортных поездов / А.Н. Кушнарев, Е.Е. Кузнецов, З.Ф. Кривуца // Техника и оборудование для села. - 2020. - № 6 (276). - С.14-17. (журнал из перечня ВАК № 1905) - URL: https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=9860.

7. Щитов, С.В. Методологическое обоснование выбора конструкции устройств рационального перераспределения сцепного веса / С.В. Щитов, Е.Е. Кузнецов [и др.] // Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо». -2016. -№2 (24). - 24 с.

8. Худовец, В.И. Использование многоосных энергетических средств класса 1,4: Монография / В.И. Худовец, С.В. Щитов – Благовещенск, изд-во ДальГАУ, 2013. – 153 с.

9. Патент № 2728162. Гидрорегулируемое буксирное устройство колёсного трактора: № 2018114603: заявл. 13.07.2018 : опубл. 28.07.2020 / С.В. Щитов, Е.Е. Кузнецов Е.Е.; заявитель, патентообладатель Дальневосточный гос. агр. университет. - 10 с.

10. Shchitov, S.V. Increasing the Shallowness of the Wheeled Tractors / S.V. Shchitov, P.V. Tikhonchuk, I.V. Bumbar, Z.F. Krivuca, V.V. Samuilo, A.V. Yakimenko, O.P. Mitrokhina // Journal of Mechanical Engineering. -1752. 41 (2) (2018)-P.31-34.- https://jmerd.org.my/Paper/2018%2C%20VOLUME%202%2C%20ISSUE%202/31-34.pdfnull.

References

1. Adler, Yu. P., Markova, E.V., Granovskii, Yu.V. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nykh uslovii (Planning of the Experiment in the Search for Optimal Conditions), Moskva, Nauka, 1976, 279 p.

2. Aldoshin, N.V., Pekhutov, A.S. Povyshenie proizvoditel'nosti pri perevozke sel'skokhozyaistvennykh gruzov (Productivity Increase in the Transportation of Agricultural Cargo), Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva, 2012, No 4, PP. 26-27.

3. Gus'kov, Yu.A. Sovershenstvovanie sborochno-transportnogo protsessa i tekhnicheskikh sredstv na zagotovke grubykh kormov (Improvement of the Assembly and Transport Process and Technical Means for the Preparation of Roughage), avtoref. dis. na soisk. uchen. step. d-ra tekhn. nauk: 05.20.01, Gus'kov Yurii Aleksandrovich, Novosib. gos. agrar. un-t, Novosibirsk, 2007, 34 p.

4. Kuznetsov, E.E., Shchitov, S.V. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya mobil'nykh energeticheskikh sredstv v tekhnologii vozdelyvaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur: monografiya (Efficiency Increase of the Use of Mobile Energy Resources in the Technology of Cultivating Agricultural Crops: Monograph), Blagoveshchensk, izd-vo Dal'GAU, 2017, 272 p.

5. Sposob korrektirovaniya traektorii dvizheniya sel'skokhozyaistvennogo transportno-tekhnologicheskogo kompleksa (Correcting Method of the Movement Trajectory of the Agricultural Transport and Technological Complex), E. E. Kuznetsov, Z. F. Krivutsa, A. N. Kushnarev, S. N. Markov, Aktual'nye voprosy nauki i tekhniki, sb. nauch. tr. po itogam mezhdunar. nauch. - prakt. konf. (Samara, 11 aprelya 2019 g.), Samara, Innovatsionnyi tsentr razvitiya obrazovaniya i nauki (INRON), 2019, Vyp. VI, PP. 26 - 29.

6. Kushnarev, A.N., Kuznetsov, E.E., Krivutsa, Z.F. Sovershenstvovanie ispol'zovaniya mnogozvennykh traktorno-transportnykh poezdov (Improvement of the Use of Multi-Link Tractor-Transport Trains), Tekhnika i oborudovanie dlya sela, 2020, No 6 (276), PP.14 – 17, URL:https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=9860.

7. Shchitov, S.V., Kuznetsov, E.E. [i dr.] Metodologicheskoe obosnovanie vybora konstruktsii ustroistv ratsional'nogo pereraspredeleniya stsepnogo vesa (Methodological Substantiation of the Design Choice of Devices for Rational Redistribution of the Coupling Weight), Elektronnyi nauchno-proizvodstvennyi zhurnal «AgroEkoInfo», 2016, No 2 (24), 24 p.

8. Khudovets, V.I., Shchitov, S.V. Ispol'zovanie mnogoosnykh energeticheskikh sredstv klassa 1,4: Monografiya (The Use of Multiaxial Power Facilities of Class 1.4: Monograph), Blagoveshchensk, izd-vo Dal'GAU, 2013, 153 p.

9. Patent № 2728162. Gidroreguliruemoe buksirnoe ustroistvo kolesnogo traktora: № 2018114603, zayavl. 13.07.2018, opubl. 28.07.2020 (Hydro-adjustable Towing Device of a Wheeled Tractor: No. 2018114603: appl. 07/13/2018: publ. 07/28/2020), C.V. Shchitov, E.E. Kuznetsov, zayavitel', patentoobladatel' Dal'nevostochnyi gos. agr. universitet, 10 p.

10. Shchitov, S.V, Tikhonchuk, P.V., Bumbar, I.V., Krivuca, Z.F., Samuilo, V.V., Yakimenko, A.V., Mitrokhina, O.P. Increasing The Shallowness of the Wheeled Tractors, Journal of Mechanical Engineering, 1752, 41 (2), (2018), PP. 31-34, https://jmerd.org.my/Paper/2018%2C%20VOLUME%202%2C%20ISSUE%202/31-34.pdfnull.

Информация об авторах

***Кушнарев Алексей Николаевич**, аспирант, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, E-mail: leha.kushnarev.79@gmail.com*

***Шуравин Александр Александрович**, аспирант, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, E-mail: sh.aleksandr.2019@mail.ru*

***Митрохина Олеся Павловна**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, E-mail: m.o.p80@mail.ru*

***Кидяева Наталья Петровна**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, E-mail: kidyaeva.n@yandex.ru*

***Поликутина Елена Сергеевна**, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, E-mail: ji.tor@mail.ru;*

***Щитов Сергей Васильевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, тел. 8(4162)99-51-79, E-mail: shitov.sv1955@mail.ru*

***Кузнецов Евгений Евгеньевич**, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, тел. 8(4162)53-93-65, E-mail: ji.tor@mail.ru*

Information about the authors

***Aleksei N. Kushnarev**, graduate student; Far Eastern State Agrarian University; 86, Politekhnicheskaya str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia; e-mail: leha.kushnarev.79@gmail.com*

***Aleksandr A., Shuravin**, graduate student; Far Eastern State Agrarian University; 86, Politekhnicheskaya str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia; e-mail: sh.aleksandr.2019@mail.ru*

***Olesya P. Mitrohina**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Far Eastern State Agrarian University; 86, Politekhnicheskaya str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia; e-mail: m.o.p80@mail.ru*

***Natalia P. Kidyaeva**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Far Eastern State Agrarian University; 86, Politekhnicheskaya str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia; e-mail: kidyaeva.n@yandex.ru*

***Elena S. Polikutina**, Candidate of Technical Sciences; Far Eastern State Agrarian University; 86, Politekhnicheskaya str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia; e-mail: ji.tor@mail.ru;*

***Sergey V. Shchitov**, Doctor of Technical Sciences, Professor; Far Eastern State Agrarian University; 86, Politekhnicheskaya str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia; e-mail: shitov.sv1955@mail.ru;*

***Evgeny E. Kuznetsov**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; Far Eastern State Agrarian University; 86, Politekhnicheskaya str., Blagoveshchensk, Amur region, Russia; e-mail: ji.tor@mail.ru.*