

Научная статья

УДК 631.372:629.114.2

ГРНТИ 68.85.87

EDN EXGUPO

DOI: 10.22450/19996837_2023_2_112

Повышение производительности экспериментального колесного агрегата на полевых работах

Владимир Викторович Леонов¹, Алексей Николаевич Кушнарев²,
Евгений Владимирович Маршанин³, Евгений Евгеньевич Кузнецов⁴,
Сергей Васильевич Щитов⁵

^{1, 3, 4, 5} Дальневосточный государственный аграрный университет

Амурская область, Благовещенск, Россия

² Дальневосточное высшее общевойсковое командное училище имени Маршала Советского Союза К. К. Рокоссовского, Амурская область, Благовещенск, Россия

¹ leonovvladimir@mail.ru, ² leha.kushnarev.79@gmail.com,

³ marshaninev@mail.ru, ⁴ ji.tor@mail.ru, ⁵ shitov.sv1955@mail.ru

Аннотация. Современный уровень механизации предприятий-сельхозтоваропроизводителей, имеющих в своем обороте большие земельные площади, характеризуется наличием значительного количества колесных энергонасыщенных полурамных тракторов 5–8 тягового классов. Применение тракторов данных классов на мелкоконтурных полях центральной и северной сельскохозяйственных зон Амурской области, отличающихся значительным наличием склоновых полей с углом склона более 5 градусов, не соответствует параметрам эффективности и безопасности. Также следует отметить, что в производстве сельскохозяйственных культур Амурской области значительную роль выполняют и небольшие крестьянские (фермерские) хозяйства, при этом объем производимой ими продукции составляет до 28 % общих валовых сборов в растениеводстве области. Отмечено, что большинство мелкоконтурных полей региона принадлежит и возделывается именно этими хозяйствами. Необходимость обработки полей отражается на формировании машинно-тракторных парков данной категории хозяйств. Это предопределяет использование для проведения сельскохозяйственных работ тракторов классов 1.4–2; при этом их технологические характеристики требуют улучшения за счет внедрения и применения новых технических решений. В статье рассмотрены вопросы формирования производительности перспективного колесного машинно-тракторного агрегата, оснащенного догружающе-стабилизирующим устройством, новизна которого, изобретательский уровень и промышленная применимость подтверждены патентом РФ на результат интеллектуальной деятельности. Предложен оригинальный математический аппарат, способствующий расчету эффективности машинно-тракторного агрегата. Установлено, что установка устройства предлагаемой конструкции в ходовой системе агрегата способна повысить его рабочую скорость как при выполнении полевых работ, так и в ходе движения по транспортным маршрутам; снизить буксование, увеличить коэффициент использования времени смены.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, улучшение технологических параметров, производительность, эффективность

Для цитирования: Леонов В. В., Кушнарев А. Н., Маршанин Е. В., Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Повышение производительности экспериментального колесного агрегата на полевых работах // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Том 17. № 2. С. 112–120. doi: 10.22450/19996837_2023_2_112.

Original article

Improving the performance of an experimental wheeled unit in the field

Vladimir V. Leonov¹, Alexey N. Kushnarev², Evgeny V. Marshanin³,
Evgeny E. Kuznetsov⁴, Sergey V. Shchitov⁵

^{1,3,4,5} Far Eastern State Agricultural University, Amur region, Blagoveshchensk, Russia

² Far Eastern Higher Combined Arms Command School named after Marshal of the Soviet Union K. K. Rokossovsky, Amur region, Blagoveshchensk, Russia

¹ leonovvladimir@mail.ru, ² leha.kushnarev.79@gmail.com,

³ marshaninev@mail.ru, ⁴ ji.tor@mail.ru, ⁵ shitov.sv1955@mail.ru

Abstract. The modern level of mechanization of agricultural enterprises with large land areas in their turnover is characterized by the presence of a significant number of wheeled energy-saturated semi-frame tractors of 5–8 traction class. The use of tractors of this class on small-contour fields of the central and northern agricultural zones of the Amur region, characterized by the significant presence of slope fields with a slope angle of more than 5 degrees, does not correspond to the parameters of efficiency and safety. It should also be noted that small peasant farms also play a significant role in the production of agricultural crops in the Amur region, while the volume of products produced by them is up to 28 % of the total gross crop production in the region. At the same time, it is noted that most of the small-scale fields of the region belong to and are cultivated by the farms. The need for their processing is reflected in the formation of machine and tractor parks of this category of farms. What determines the use of tractors of class 1.4–2 for agricultural work, while their technological characteristics require improvement through the introduction and application of new technical solutions. The article deals with the issues of forming the performance of a promising wheeled machine-tractor unit equipped with a loading-stabilizing device, the novelty of which, the inventive level and industrial applicability are confirmed by a patent of the Russian Federation for the result of intellectual activity. An original mathematical apparatus is proposed that contributes to the calculation of the efficiency of the machine-tractor unit. It is established that the installation of the device of the proposed design in the running system of the unit is able to increase the working speed both during field work and during movement along transport routes, reduce slipping, increase the utilization factor of shift time.

Keywords: machine-tractor unit, improvement of technological parameters, performance, efficiency

For citation: Leonov V. V., Kushnarev A. N., Marshanin E. V., Kuznetsov E. E., Shchitov S. V. Povyshenie proizvoditel'nosti eksperimental'nogo kolyosnogo agregata na polevyh rabotah [Improving the performance of an experimental wheeled unit in the field]. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik*. – *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2023; 17; 2: 112–120 (in Russ.). doi: 10.22450/19996837_2023_2_112.

Введение. Повышение производительности машинно-тракторных агрегатов при снижении энергетических затрат является основным направлением улучшения эффективности применения средств механизации в сельском хозяйстве [1, 2].

При этом современный уровень механизации предприятий-сельхозтоваропроизводителей, имеющих в своем обороте большие земельные площади, характеризуется наличием значительного количества колесных энергонасыщенных

полурамных тракторов 5–8 тягового классов [3–5]. Применение тракторов данных классов на мелкоконтурных полях центральной и северной сельскохозяйственных зон Амурской области, отличающихся значительным наличием склоновых полей с углом склона более 5 градусов, не соответствует параметрам эффективности и безопасности [6, 7].

Также следует отметить, что в производстве сельскохозяйственных культур Амурской области значительную роль

выполняют и небольшие крестьянские (фермерские) хозяйства, при этом объем производимой ими продукции составляет 28 % общих валовых сборов в растениеводстве области.

Как показали проведенные исследования, основным энергетическим средством таких хозяйств являются колесные универсально-пропашные тракторы класса 1,4 с колесной формулой 4К2. Обладая большим преимуществом в виде многофункциональности, данные тракторы не в полной мере могут реализовать свои тягово-сцепные качества, так как часть сцепного веса (около одной трети) приходится на передние неведущие управляемые колеса.

В связи с этим в рамках научной темы «Мобильная энергетика» в Дальневосточном государственном аграрном университете на основании проведенного патентного поиска и анализа работ [8, 9] разработана, внедрена и успешно используется конструкция тросового догружающе-стабилизирующего устройства по патенту РФ № 196181 «Регулятор сцепного веса бороновального агрегата» (рис. 1).

Предложенное устройство, как показали исследования, обладает конструктивными возможностями, способствующими расширению технологических параметров серийного машинно-тракторного агрегата, состоящего из колесного трактора моноблочной компоновки типа МТЗ и сельскохозяйственного орудия, а также повышению его производительности.

Материалы и методы исследования. Как известно, время выполнения сельскохозяйственной операции в рамках рабочей смены складывается из нескольких составляющих, немаловажной из которых является время, затраченное на доставку или самостоятельное перемещение машинно-тракторного агрегата к месту проведения полевой операции.

В связи с этим, общие затраты времени ($T_{общ}$) при постоянном нахождении средств механизации в месте основной дислокации сельхозтоваропроизводителя возможно представить в виде выражения (1) [10]:



Рисунок 1 – Фрагмент экспериментальных исследований на транспортных работах
Figure 1 – Fragment of experimental studies on transport work

$$T_{\text{общ}} = T_{\text{пер}} + T_{\text{обсл}} + T_{\text{рег}} + T_{\text{раб}} \quad (1)$$

где $T_{\text{пер}}$ – время самостоятельного перемещения машинно-тракторного агрегата (МТА) к месту проведения полевой операции, час;

$T_{\text{обсл}}$ – время на обслуживание МТА в ходе полевых работ, час;

$T_{\text{рег}}$ – время регулировки сельскохозяйственной машины для условий проведения полевой операции, час;

$T_{\text{раб}}$ – время проведения непосредственных полевых работ в рамках одной рабочей смены, час.

Как правило, машинно-тракторный агрегат после окончания смены в хозяйстве возвращается на центральную усадьбу. Таким образом, формулу (1) можно представить в виде выражения (2):

$$T_{\text{общ}} = 2T_{\text{пер}} + T_{\text{обсл}} + T_{\text{рег}} + T_{\text{раб}} \quad (2)$$

В общем случае время, затрачиваемое на переезды, можно определить по формуле (3):

$$T_{\text{пер}} = \frac{S_{\text{пер}}}{V_{\text{раб. пер}}} \quad (3)$$

где $S_{\text{пер}}$ – общая длина маршрута на переезды МТА для выполнения сельскохозяйственной операции, км;

$V_{\text{раб. пер}}$ – рабочая скорость движения МТА, км/ч.

Так как общее расстояние от поля, где выполняется единичная сельскохозяйственная операция, остается величиной постоянной, то, следовательно, уменьшить время, затрачиваемое на переезды, возможно только за счет увеличения скорости движения. Это, в свою очередь, позволит увеличить время проведения непосредственных полевых работ в рамках одной рабочей смены.

Так как на величину производительности большое влияние оказывает коэффициент использования рабочей смены, который непосредственно зависит от основного времени смены, то необходимо, чтобы выполнялось условие (4):

$$\tau_3 > \tau \rightarrow \max \quad (4)$$

где τ_3 – коэффициент использования рабочей смены экспериментального МТА;

τ – коэффициент использования времени смены при использовании серийного МТА.

Для лучшего анализа предложенного устройства с точки зрения использования времени смены введем так называемый коэффициент улучшения, который в нашем случае должен быть:

$$K = \frac{\tau_3}{\tau} > 1 \quad (5)$$

Таким образом, можно сделать вывод, что использование предложенного устройства позволяет получить большую эффективность при эксплуатации агрегата за счет повышения скорости движения и, как следствие, увеличения коэффициента использования рабочей смены.

На основании проведенных производственных испытаний установлено, что предлагаемое устройство по патенту Российской Федерации [11] (рис. 2) позволяет увеличить скорость движения при переездах к месту работы за счет стабилизации движения машинно-тракторного агрегата (снижения колебательных реакций трактора и сельскохозяйственной машины в движении). Следовательно, уменьшается и время, затрачиваемое на эту операцию, что в конечном итоге повышает коэффициент использования времени смены. Кроме этого, использование данного устройства позволяет повышать нагрузку на ведущие колеса трактора за счет перераспределения части нагрузки между сельскохозяйственным орудием и трактором, что в конечном итоге улучшает тягово-сцепные свойства энергетического средства, снижая при этом величину буксования [12].

Эффективность использования борнового машинно-тракторного агрегата определяется его производительностью по формуле (6) [9, 10]:

$$W = 0,36B_p \cdot V_p \cdot \tau \quad (6)$$

где B_p – ширина захвата агрегата, м;

V_p – рабочая скорость движения МТА при выполнении полевой операции, км/ч.



Рисунок 2 – Фрагмент проведения эксперимента на полевых работах
Figure 2 – Fragment of experimental studies on transport work

Анализ формулы (6) позволяет сделать вывод, что величина производительности во многом зависит от таких показателей как:

- 1) ширина захвата;
- 2) рабочая скорость движения;
- 3) коэффициент использования времени рабочей смены.

Таким образом, в нашем случае основными факторами формирования производительности машинно-тракторного агрегата будут являться два показателя: скорость движения и коэффициент использования времени смены.

Рабочая скорость движения во многом определяется величиной буксования:

$$V_p = V_T(1 - \delta) \quad (7)$$

где V_m – теоретическая скорость агрегата, км/ч;

δ – величина буксования энергетического средства.

В зависимости от коэффициента использования времени смены, уравнение (6) можно представить как выражение (8), определяющего производительность серийного МТА, и в виде выражения (10), определяющего производительность экспериментального МТА:

$$W = 0,36B_p \cdot V_T \cdot (1 - \delta) \cdot \tau, \quad (8)$$

$$W = 0,36B_p \cdot V_T \cdot (1 - \delta) \cdot \tau_s, \quad (9)$$

$$\text{или } W = 0,36B_p \cdot V_T \cdot (1 - \delta) \cdot K \tau_s, \quad (10)$$

Анализируя уравнение (10), можно отметить, что производительность экспериментального машинно-тракторного агрегата будет выше, чем серийного, так как коэффициент улучшения больше единицы.

В условиях Амурской области для повышения тягово-сцепных свойств необходимо оптимизировать сцепной вес в зависимости от несущей способности и состояния почвы [12–14].

В работах [9, 10] связь между производительностью и сцепным весом предлагается определять по формуле (11):

$$W = 0,36B_p \cdot V_T \cdot \left(1 - \frac{0,248 \frac{P_{кр}}{G_{3,6}}}{1 - 3,077 \left(\frac{P_{кр}}{G_{3,6}}\right)^3}\right) \cdot \tau_s, \quad (11)$$

где P – тяговое усилие трактора, кН;
 $G_{3,6}^{кр}$ – вес, приходящийся на задние ведущие колеса трактора, кН.

Результаты исследования и их обсуждение. Таким образом, использование предложенного устройства позволяет в зависимости от состояния почвы изменять как сцепной вес трактора, так и вес, приходящийся на агрегатируемую им борону [15].

На основании ранее проведенных исследований [13], было получено уравнение (12) для определения сцепного веса (Y_2) при работе устройства.

Для лучшего анализа полученного уравнения величину сцепного веса (Y_2) обозначили через величину Q .

$$\begin{aligned}
 Y_2 = & \frac{G(B-a)}{B} + \frac{G_n d}{BB} (B+C') + \frac{F \sin \beta}{\sin \beta + \cos \beta \operatorname{tg} d} \cdot \frac{B+C'}{B} + \\
 & + \left(\frac{F \cos \beta \cdot \cos d}{\sin(d+\beta)} - \frac{F \cos \beta}{\sin \beta + \cos \beta \operatorname{tg} d} \right) \frac{h_B (B+C')}{BB \cdot \cos \gamma} + \\
 & + \frac{F \cos \beta \cos d \cdot (h+h_b)}{\sin(\beta+d) \cdot B} = \frac{G(B-a)}{B} + \frac{G_n d}{BB} (B+C') + \\
 & + F \frac{\sin \beta}{\sin \beta + \cos \beta \operatorname{tg} d} \cdot \frac{B+C'}{B} + \left(\frac{\cos d}{\sin(d+\beta)} - \frac{1}{\sin \beta + \cos \beta \operatorname{tg} d} \right) \cdot \\
 & \cdot \frac{h_B \cos \beta (B+C')}{BB \cdot \cos \gamma} + \frac{\cos \beta \cos d \cdot (h+h_b)}{\sin(d+\beta) \cdot B}
 \end{aligned} \quad (12)$$

Таким образом, *производительность машинно-тракторного агрегата (6) с учетом уравнений (9, 10, 11) можно представить для серийного МТА выражением (13); для экспериментального МТА – выражением (14):*

$$W = 0,36B_p \cdot V_T \cdot \left(1 - \frac{0,248 \frac{P_{кр}}{G_{э.в}}}{1 - 3,077 \left(\frac{P_{кр}}{G_{э.в}} \right)^3} \right) \cdot \tau, \quad (13)$$

$$W^э = 0,36B_p \cdot V_T \cdot \left(1 - \frac{0,248 \frac{P_{кр}}{G_{э.в} + Q}}{1 - 3,077 \left(\frac{P_{кр}}{G_{э.в} + Q} \right)^3} \right) \cdot K\tau, \quad (14)$$

Заключение. Таким образом, *анализ формул (13) и (14) подтверждает, что за счет установки предлагаемого устройства в системе машинно-тракторного*

агрегата возможно повысить его рабочую скорость движения в ходе выполнения полевых работ и движения по транспортным маршрутам, а также снизить буксование, увеличить коэффициент использования времени смены, что позволит получить большую производительность и эффективность применения машинно-тракторного агрегата в сельском хозяйстве.

В целях производственной проверки были проведены сравнительно-хозяйственные испытания, результаты которых сведены в таблицу 1.

Проведенные сравнительные хозяйственные испытания экспериментального и серийного МТА в производственно-климатических условиях Амурской области при обработке почвы, в сравнении с результатами, полученными в работах [1–4, 13, 14], показали, что при незначительных затратах на производство предложенная конструкция обладает явными положительными характеристиками и повышенными параметрами эффективности при внедрении в технологии растениеводства.

В работе установлено, что использование трактора МТЗ-80 и рамной дисковой бороны БДТ-3 с установленным и исследованным известными методами

Таблица 1 – Результаты сравнительных хозяйственных испытаний на бороновании
Table 1 – Results of comparative economic tests on harrowing

| Показатели | | Состав МТА (МТЗ-80 + БДТ-3) | |
|---|----------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| | | серийный | экспериментальный |
| Длина гона, м | | 950 | 950 |
| Ширина захвата, м | конструктивная | 3,00 | 3,00 |
| | рабочая | 2,92 | 2,93 |
| Скорость движения, м/с | | 2,30 | 2,65 |
| Производительность, га/ч | в час времени движения | 2,5 | 2,81 |
| | в час основного рабочего времени | 2,83 | 3,02 |
| Коэффициент использования времени движения | | 0,88 | 0,88 |
| Коэффициент использования времени смены | | 0,83 | 0,86 |
| Расход топлива на единицу обработанной площади, кг/га | | 7,5 | 6,9 |

устройством на бороновании позволило повысить производительность в час основного рабочего времени на 16 %. При этом установлено существенное снижение расхода топлива на единицу обработанной площади в пределах 8,6 % по сравнению с серийным агрегатом.

Представленные материалы получены коллективом авторов при совместных исследованиях, а их результаты широко внедрены в сельскохозяйственные процессы и технологии, применяемые рядом

ведущих агропромышленных предприятий региона.

Полученные данные позволили провести актуализацию ряда преподаваемых дисциплин на факультете механизации сельского хозяйства Дальневосточного государственного аграрного университета и предложить обоснованные рекомендации аграрному производству по применению колесных энергетических средств, адаптированных и модернизированных к условиям регионального использования.

Список источников

1. Алдошин Н. В., Пехутов А. С. Повышение производительности при перевозке сельскохозяйственных грузов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2012. № 4. С. 26–27.
2. Баранов А. С., Павлюк А. С. Пути повышения эксплуатационных свойств мобильной машины // Известия Кыргызского государственного технического университета. 2019. № 1 (49). С. 79–90.
3. Беляев В. И., Вольнов В. В. Ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур в Алтайском крае. Барнаул : Алтайский государственный аграрный университет, 2010. 178 с.
4. Беляев В. И. Современная техника и информационные технологии в земледелии Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 8 (166). С. 158–162.
5. Раднаев Д. Н. Применение методов системного подхода для проектирования технологических процессов // Аграрная наука. 2010. № 5. С. 28–30.
6. Липкович Э. И., Бельтюков Л. П., Бондаренко А. М. Органическая система земледелия // Техника и оборудование для села. 2014. № 8. С. 2–7.
7. Шишлов С. А., Шишлов А. Н. Теоретические предпосылки повышения эффективности предпосевной подготовки почвы и посева сои на основании оценки совокупных энергозатрат // Роль аграрной науки в развитии лесного и сельского хозяйства Дальнего Востока : материалы III нац. (всерос.) науч.-практ. конф. Уссурийск : Приморская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 153–160.
8. Патент № 2691527 Российская Федерация. Способ повышения силы сцепления колес мобильной машины с опорной поверхностью : № 2018112066 : заявл. 03.04.2016 : опубл. 14.06.2018 / Павлюк А. С., Баранов А. С., Собачкин А. В. Бюл. № 17. 7 с.
9. Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2017. 272 с.
10. Трепененков И. И. Эксплуатационные показатели сельскохозяйственных тракторов. М. : Машгиз, 1963. 271 с.
11. Патент № 196181 Российская Федерация. Регулятор сцепного веса бороновального агрегата : № 2019130426 : заявл. 25.09.2019 : опубл. 19.02.2020 / Кузнецов Е. Е., Щитов С. В., Кривуца З. Ф. Бюл. № 5. 6 с.
12. Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Расширение функциональных возможностей колесной энергетики // Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 1 (57). С. 87–98.
13. Increasing the efficiency of use of wheeled tractors with an articulated frame for secondary tillage / S. V. Shchitov, P. V. Tikhonchuk, I. V. Bumbar // Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. 2018. No. 41 (2). P. 31–34.

14. The dependence of the performance of machine-tractor units from the effective power of engines / A. A. Kislov, A. F. Kislov, E. E. Kuznetsov, K. R. Babukhadiya // *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control System*. 2019. Vol. 11. No. 5. P. 150–157.

15. Слепенков А. Е. Повышение эффективности использования колесного пропашного трактора при бороновании // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. № 3 (83). С. 206–210.

References

1. Aldoshin N. V., Pekhutov A. S. Povysheniye proizvoditel'nosti pri perezovozke sel'skokhozyaystvennykh gruzov [Productivity increase in the transportation of agricultural cargo]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. – Mechanization and Electrification of Agriculture*, 2012; 4: 26–27 (in Russ.).

2. Baranov A. S., Pavlyuk A. S. Puti povysheniya ekspluatatsionnykh svoystv mobil'noi mashiny [Ways to improve the operational properties of a mobile machine]. *Izvestiya Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. – Izvestia Kyrgyz State Technical University*, 2019; 1 (49): 79–90 (in Russ.).

3. Belyaev V. I., Vol'nov V. V. *Resursosberegayushchie tekhnologii vozdvlyvaniya zernovykh kul'tur v Altaiskom krae: monografiya [Resource-saving technologies for the cultivation of grain crops in the Altai krai: monograph]*, Barnaul, Altajskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2010, 178 p. (in Russ.).

4. Belyaev V. I. Sovremennaya tekhnika i informatsionnye tekhnologii v zemledelii Altaiskogo kraya [Modern equipment and information technologies in agriculture of the Altai krai]. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2018; 8 (166): 158–162 (in Russ.).

5. Radnaev D. N. Primeneniye metodov sistemnogo podkhoda dlya proektirovaniya tekhnologicheskikh protsessov [Application of methods of a systematic approach for the design of technological processes]. *Agrarnaya Nauka. – Agrarian Science*, 2010; 5: 28–30 (in Russ.).

6. Lipkovich E. I., Bel'tyukov L. P., Bondarenko A. M. Organicheskaya sistema zemledeliya [Organic farming system]. *Tekhnika i oborudovanie dlja sela. – Machinery and Equipment for Rural Area*, 2014; 8: 2–7 (in Russ.).

7. Shishlov S. A., Shishlov A. N. Teoreticheskiye predposylki povysheniya effektivnosti predposevnoy podgotovki pochvy i poseva soi na osnovanii otsenki sovokupnykh energozatrat [Theoretical prerequisites for increasing of the efficiency of pre-sowing soil preparation and sowing soybeans based on an assessment of total energy consumption]. Proceedings from The role of agricultural science in the development of forestry and agriculture in the Far East: *III Nacional'naya (vserossiyskaya) nauchno-prakticheskaya konferenciya – III National (All-Russian) Scientific and Practical Conference*. (PP. 153–160), Ussurijsk, Primorskaya gosudarstvennaya sel'skokozyaystvennaya akademiya, 2019 (in Russ.).

8. Pavlyuk A. S., Baranov A. S., Sobachkin A. V. Sposob povysheniya sily stsepleniya koles mobil'noi mashiny s opornoj poverkhnost'yu [A method for increasing the adhesion force of the wheels of a mobile machine with a supporting surface]. *Patent RF, no 2691527 yandex.ru* 2018 Retrieved from https://yandex.ru/patents/doc/RU196181U1_20200219 (Accessed 10 March 2023) (in Russ.).

9. Kuznetsov E. E., Shchitov S. V. *Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya mobil'nykh energeticheskikh sredstv v tekhnologii vozdvlyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: monografiya [Efficiency increase of the use of mobile energy resources in the technology of cultivating agricultural crops: monograph]*, Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2017, 272 p. (in Russ.).

10. Trepenenkov I. I. *Ekspluatatsionnye pokazateli sel'skokhozyaystvennykh traktorov [Performance indicators of agricultural tractors]*, Moskva, Mashgiz, 1963, 271 p. (in Russ.).

11. Kuznetsov E. E., Shchitov S. V., Krivutsa Z. F. Regulyator scepного vesa boronovального agregata [Grip weight regulator of the harrowing unit]. *Patent RF, no 196181 yandex.ru* 2020 Retrieved from https://yandex.ru/patents/doc/RU196181U1_20200219 (Accessed 10 March 2023) (in Russ.).

12. Kuznetsov E. E., Shchitov S. V. Rasshirenie funktsional'nykh vozmozhnostei kolesnoi energetiki [Expansion of wheeled power functional capabilities]. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. – *Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2021; 1 (57): 87–98 (in Russ.).

13. Shchitov S. V., Tikhonchuk P. V., Bumbar I. V., Krivuca Z. F., Samuilo V. V., Yakimenko A. V. [et al.]. Increasing the efficiency of use of wheeled tractors with an articulated frame for secondary tillage. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 2018; 41 (2): 31–34.

14. Kislov A. A., Kislov A. F., Kuznetsov E. E., Babukhadiya K. R. The dependence of the performance of machine-tractor units from the effective power of engines. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control System*, 2019; 11; 5: 150–157.

15. Slepnev A. E. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya kolesnogo propashnogo traktora pri boronovanii [Improving the efficiency of using a wheeled row-crop tractor for harrowing]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – *Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2020; 3 (83): 206–210 (in Russ.).

© Леонов В. В., Кушнарев А. Н., Маршанин Е. В., Кузнецов Е. Е., Щитов С. В., 2023

Статья поступила в редакцию 19.04.2023; одобрена после рецензирования 18.05.2023; принята к публикации 22.05.2023.

The article was submitted 19.04.2023; approved after reviewing 18.05.2023; accepted for publication 22.05.2023.

Информация об авторах

Леонов Владимир Викторович, аспирант, Дальневосточный государственный аграрный университет, leonovvladimir@mail.ru;

Кушнарев Алексей Николаевич, кандидат технических наук, Дальневосточное высшее общевойсковое командное училище имени Маршала Советского Союза К. К. Рокоссовского, ORCID 0000-0002-3736-9923, leha.kushnarev.79@gmail.com;

Маршанин Евгений Владимирович, аспирант, Дальневосточный государственный аграрный университет, ORCID 0000-0002-1011-0030, marshaninev@mail.ru;

Кузнецов Евгений Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный аграрный университет, ORCID 0000-0003-0725-4444, ji.tor@mail.ru;

Щитов Сергей Васильевич, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный аграрный университет, ORCID 0000-0003-2409-450X, shitov.sv1955@mail.ru

Information about the authors

Vladimir V. Leonov, Postgraduate Student, Far Eastern State Agrarian University, leonovvladimir@mail.ru;

Alexey N. Kushnarev, Candidate of Technical Sciences, Far Eastern Higher Combined Arms Command School named after Marshal of the Soviet Union K. K. Rokossovsky, ORCID 0000-0002-3736-9923, leha.kushnarev.79@gmail.com;

Evgeny V. Marshanin, Postgraduate Student, Far Eastern State Agrarian University, ORCID 0000-0002-1011-0030, marshaninev@mail.ru;

Evgeny E. Kuznetsov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Far Eastern State Agrarian University, ORCID 0000-0003-0725-4444, ji.tor@mail.ru;

Sergey V. Shchitov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Far Eastern State Agrarian University, ORCID 0000-0003-2409-450X, shitov.sv1955@mail.ru