

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-630348>

Оригинальное исследование



Рациональное балластирование колёсных тракторов при использовании в зональных технологиях почвообработки

Н.И. Селиванов¹, В.Г. Шрам²¹ Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия;² Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Показана актуальность рационального балластирования нового поколения колёсных 4к4а тракторов на одинарных (1к) и сдвоенных задних (2к') колёсах с регулируемой в широком диапазоне эксплуатационной массой при использовании в зональных технологиях почвообработки.

Цель работы — обоснование уровней рационального балластирования колёсных 4к4а тракторов нового поколения на операциях почвообработки.

Методы. В качестве основного параметра-адаптера принята удельная масса трактора, эталонное значение которой представляет отношение эксплуатационной массы с полным балластом к развиваемой мощности двигателя в номинальном тяговом режиме на операциях первой группы (отвальная вспашка) при скорости 2,50 м/с (9,0 км/ч), обеспечивающее полную реализацию потенциальных возможностей.

Результаты. Установленные по результатам моделирования и экспериментов эталонные уровни удельной массы составляют 67,3 (1к) и 70,0 (2к') кг/кВт и определяют максимальное значение эксплуатационной массы трактора заявленной мощности. На операциях меньшей энергоёмкости 2 и 3 гр. с номинальной скоростью 2,90 и 3,33 м/с её оптимальные значения снижаются на 16 и 33% соответственно, что определяет целесообразность их выполнения при минимальном балластировании с удельной массой 58,0–60,0 кг/кВт. При этом рациональное использование трактора с полным балластом ограничено скоростным интервалом 7,6–10,0 км/ч на операциях 1 и 2 гр. и 10,0–13,0 км/ч с минимальным при выполнении операций 2 и 3 гр. Работа трактора с полным балластом на операциях 3 гр. при скорости 12–13 км/ч сопровождается повышением вредного воздействия движителей на почву и увеличением расхода топлива до 0,7–0,9 л/ч для перемещения каждой тонны излишней массы.

Заключение. Предложенные варианты балластирования обеспечивают реализацию потенциальных возможностей тракторов нового поколения на операционных технологиях почвообработки при минимальном повышении трудоёмкости эксплуатации.

Ключевые слова: колёсный трактор; комплектация; балластирование; удельная масса; технология почвообработки; эталонный уровень.

Как цитировать:

Селиванов Н.И., Шрам В.Г. Рациональное балластирование колёсных тракторов при использовании в зональных технологиях почвообработки АПК // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 6. С. 827–833. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-630348>

Рукопись получена: 15.04.2024

Рукопись одобрена: 20.01.2025

Опубликована online: 20.01.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-630348>

Original Study Article

Reasonable ballasting of wheeled tractors when used in zonal tillage technologies

Nikolay I. Selivanov¹, Vyacheslav G. Shram²¹ Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia;² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The relevance of reasonable ballasting of a new generation of wheeled 4K4a tractors on single (1k) and dual rear (2k') wheels with an operating weight adjustable over a wide range when used in zonal tillage technologies is shown.

OBJECTIVE: Justification of levels of reasonable ballasting of the new generation wheeled 4K4a tractors in soil cultivation operations.

METHODS: The specific weight of the tractor is taken as the main adapting parameter, the reference value of which is the ratio of the operating weight with full ballast to the engine power output in the nominal traction mode for operations of the first group (moldboard plowing) at a velocity of 2.50 m/s (9.0 km/h), ensuring full implementation of potential capabilities.

RESULTS: The reference levels of specific gravity based on the results of modeling and experiments are 67.3 (1k) and 70.0 (2k') kg/kW and determine the maximum value of the operating weight of a tractor of the declared power. For operations with lower energy intensity, the second and third groups, with a nominal velocity of 2.90 and 3.33 m/s, its optimal values are reduced by 16 and 33% respectively, which determines the feasibility of their implementation with minimal ballasting with a specific gravity of 58.0–60.0 kg/kW. At the same time, the reasonable use of a tractor with full ballast is limited to the velocity range of 7.6–10.0 km/h in operations of the first and second groups, and the velocity range of 10.0–13.0 km/h with a minimum ballast when performing operations of the second and third groups. Tractor operation with full ballast during operations of the third group at a velocity of 12–13 km/h is accompanied by an increase in the harmful impact of propulsion on the soil and an increase in fuel consumption to 0.7–0.9 l/h to move each ton of excess mass.

CONCLUSIONS: The proposed ballasting options ensure the implementation of the potential capabilities of the new generation tractors at operational tillage technologies with a minimal increase in operating labor intensity.

Keywords: wheeled tractor; configuration; ballasting; specific gravity; tillage technology; reference level.

To cite this article:

Selivanov NI, Shram VG. Reasonable ballasting of wheeled tractors when used in zonal tillage technologies. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(6):827–833. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-630348>

Received: 15.04.2024

Accepted: 20.01.2025

Published online: 20.01.2025

ВВЕДЕНИЕ

Универсальные и общего назначения колёсные улучшенной классической 4к4а компоновки мобильные энергетические средства в растениеводстве Красноярского края составляют свыше 70% (без малогабаритных) от общего состава парка. Свыше 45% из них приходится на тракторы «Беларус» (МТЗ) 1,4–3,0 тяговых классов с номинальной мощностью двигателя от 50 до 200 кВт (80–270 л.с.) [1]. Однако в достигнутом 2022–2023 гг. ежегодном (130 ед.) обновлении парка указанных типоразмеров ведущие позиции заняли китайские тракторы «Lovol» и «Agroapollo» мощностью 66–192 кВт (90–260 л.с.) с регулируемой широком диапазоне масс. В общей структуре обновления парка их продукция достигла 24,9%, а МТЗ снизилась до 15,5% [2]. Основной причиной указанной переориентации рынка является сравнительная оценка сельскими товаропроизводителями показателей технологического уровня, цены и качества поставляемой продукции.

Практика эксплуатации тракторов нового поколения с регулируемой в пределах 18–25% массой за счет съёмного балласта показывает отсутствие рекомендаций официальных дилеров по их адаптации к операционным технологиям почвообработки для наиболее полной реализации потенциальных возможностей, что приводит к повышенному расходу топлива.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Обоснование уровней рационального балластирования колёсных 4к4а тракторов нового поколения на операциях почвообработки.

МЕТОДЫ

В основу решения поставленных задач положены условия и методы многоуровневой системы [1–3] адаптации энергонасыщенных колёсных тракторов к операционным технологиям почвообработки:

- По требованиям агротехники и ресурсосбережения зональные технологии основной и предпосевной почвообработки разделены на три группы с обоснованными номинальными значениями и рациональными интервалами $(V_{H\pm\Delta V_{max}})^*$ рабочей скорости агрегатов: 1 гр. — отвальная вспашка и глубокое рыхление лемешными плугами общего назначения (подгруппа 1.1) $2,10 \pm 0,40$ м/с ($7,5 \pm 1,5$) км/ч и скоростными (подгруппа 1.2) $2,50 \pm 0,40$ м/с ($9,0 \pm 1,5$) км/ч; 2 гр. — безотвальная глубокая обработка, чизелевание и посев $2,90 \pm 0,40$ м/с ($10,5 \pm 1,5$) км/ч; 3 гр. — поверхностная и предпосевная обработка $3,30 \pm 0,40$ м/с ($12,0 \pm 1,5$) км/ч.
- Номинальное тяговое усилие $P_{крн}$ колёсного 4к4а трактора на одинарных (1к) и сдвоенных задних (2к') колёсах

с эксплуатационной массой $m_{\text{э}}^*$ по ГОСТ 27021-86 [4] соответствует коэффициенту использования веса

$$\phi_{крн} = \frac{P_{крн}}{m_{\text{э}}^* \cdot g} = 0,40 \text{ и тяговому КПД } \eta_{тн} = 0,660(1к) -$$

0,960(2к') с ограничением, по условиям ресурсосбережения, рационального диапазона $(P_{кр\text{min}}^* \div P_{кр\text{max}}^*)$ режимами $\phi_{кр\text{min}}^* = 0,35 - 0,36$ при $\eta_{т\text{max}} \geq \eta_{т}$ и $\phi_{кр\text{max}}^* = 0,45 - 0,47$ с допустимым буксованием $\delta_{\text{max}}^* \leq \delta_{\text{пр}} = 0,16$ и $\eta_{т\text{min}} = (0,965 - 0,970) \eta_{тн}$.

- Эталонная энергонасыщенность трактора любой комплектации с установленной эксплуатационной $N_{\text{ээ}}$ или номинальной $N_{\text{сн}}$ мощностью двигателя, представляющая отношение их реализуемого значения $\overline{N}_{\text{ер}}$ к весу $G_{\text{э}}^* = m_{\text{э}}^* \cdot g$ с полным балластом $G_{\text{б}}^*$ в номинальном тягово-скоростном режиме на операциях первой группы (отвальная вспашка) при $V_{\text{H1}}^* = 2,5$ м/с (9,0 км/ч) и $\phi_{крн} = 0,40$ [5] определяет эталонный уровень основного параметра-адаптера к операционным технологиям почвообработки — удельной массы $m_{\text{удЭ}}^* = m_{\text{удH}}^* = m_{\text{э}}^* / \overline{N}_{\text{ер}}$ (кг/кВт) и соответствующего номинального тягового усилия $P_{крн}$ (кН/кВт):

$$\begin{cases} m_{\text{удЭ}}^* = \eta_{тн} / g \cdot \phi_{крн} \cdot \overline{V}_{\text{H1}}^* \cdot 10^{-3} \\ P_{\text{крудH}}^* = \eta_{тн} / \overline{V}_{\text{H1}}^* \end{cases} \quad (1)$$

Границы скоростного интервала $(V_{\text{min}} - V_{\text{max}})_{\text{э}}^*$ и тягового диапазона $(P_{\text{кр\text{min}}} - P_{\text{кр\text{max}}})_{\text{э}}^*$ трактора с $m_{\text{удЭ}}^*$ при использовании в зоне $(\phi_{крн\text{min}} - \phi_{крн\text{max}})^*$ соответствует условиям:

$$\begin{cases} V_{\text{min}\text{э}}^* = \eta_{т\text{min}} \cdot 10^3 / g \cdot \phi_{кр\text{max}}^* \cdot m_{\text{удЭ}}^* \geq \overline{V}_{\text{H1.1}}^*; \\ V_{\text{max}\text{э}}^* = \eta_{т\text{max}} \cdot 10^3 / g \cdot \phi_{кр\text{min}}^* \cdot m_{\text{удЭ}}^* \geq \overline{V}_{\text{H1.2}}^*; \\ P_{\text{круд\text{min}\text{э}}^*} = \eta_{т\text{min}} / V_{\text{max}\text{1}}^* \geq P_{\text{крудH2}}^*; \\ P_{\text{круд\text{max}\text{э}}^*} = \eta_{т\text{max}} / V_{\text{min}\text{1}}^* \geq P_{\text{крудH1.1}}^* \end{cases} \quad (2)$$

Оптимальные значения $m_{\text{уд}\text{i}}^*$ и границы тягово-скоростных диапазонов для операций 2 и 3 гр. определяются по выражениям:

$$\begin{cases} m_{\text{уд}\text{i}}^* = m_{\text{удЭ}}^* \cdot \overline{V}_{\text{H1}}^* / \overline{V}_{\text{Hi}}^* \\ V_{\text{min}\text{i}}^* = V_{\text{Hi}}^* \cdot \lambda \eta_{т\text{min}} / \lambda \phi_{кр\text{max}}^*; \\ V_{\text{max}\text{i}}^* = V_{\text{Hi}}^* \cdot \lambda \eta_{т\text{max}} / \lambda \phi_{кр\text{min}}^*; \\ P_{\text{круд\text{min}\text{i}}^*} = m_{\text{уд}\text{i}}^* \cdot g \cdot \phi_{кр\text{min}}^*; \\ P_{\text{круд\text{max}\text{i}}^*} = m_{\text{уд}\text{i}}^* \cdot g \cdot \phi_{кр\text{max}}^* \end{cases} \quad (3)$$

где $\lambda \eta_{т\text{min}} = \lambda_{т\text{min}} / \eta_{тн}$; $\lambda \eta_{т\text{max}} = \lambda_{т\text{max}} / \eta_{тн}$;
 $\lambda \phi_{кр\text{min}} = \phi_{кр\text{min}} / \phi_{крн}$; $\lambda \phi_{кр\text{max}} = \phi_{кр\text{max}} / \phi_{крн}$.

Номинальные $m_{ЭН}^*$ и минимальные $m_{Э\min}^*$ значения эксплуатационной массы трактора с установленной $N_{э3}(N_{эН})$ мощностью, ограничивающие рациональный диапазон её регулирования съёмным балластом, определяются как

$$\begin{cases} m_{Э}^* = m_{удЭ}^* \cdot \bar{N}_{эп} = \bar{m}_{удЭ}^* \cdot \xi_{N_1} \cdot N_{э3} = m_{удЭ}^* \cdot \xi_{N_1} \cdot \xi_{N_2} \cdot N_{эН} \\ \bar{m}_{Э\min}^* = \bar{m}_{уд2}^* \cdot \bar{N}_{эп} = \bar{m}_{уд2}^* \cdot \xi_{N_1} \cdot N_{э3} = m_{уд2}^* \cdot \xi_{N_1} \cdot \xi_{N_2} \cdot N_{эН} \end{cases} \quad (4)$$

где $\xi_{N_1} = \bar{N}_{эп} / N_{э3}$; $\xi_{N_2} = N_{э3} / N_{эН}$ — коэффициенты использования соответственно эксплуатационной и номинальной мощности двигателя.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Эксплуатационная масса $m_{Э}^*$ (вес $G_{Э}^* = m_{Э}^* \cdot g$) с абсциссой центра масс $A_{ц}^* = a_{ц}^* / L$ для операционных технологий установленных групп при снаряженной массе m_0 (весе $G_0 = m_0 \cdot g$) трактора с колёсной базой L , $A_{П} = a_{П} / L$ и $A_{ц0} = a_{ц0} / L$ основной (1к) комплектации достигается за счёт размещения балластных грузов впереди остова $G_{БП}^*$ и на дисках задних колёс $G_{БК}^*$ (рис. 1), величина которых определяется решением уравнений момента относительно осей передних $O_{П}$ и задних $O_{К}$ колёс [6]

$$\begin{cases} Y_{ПСТ}^* = [G_{БП}^* (L + a_{П}) + G_0 \cdot a_{ц0}] / L \\ Y_{КСТ}^* = [G_0 (L - a_{ц0}) - G_{БП}^* \cdot a_{П} + G_{БК}^* \cdot L] / L \end{cases} \quad (5)$$

При использовании удельной массы $m_{удЭ}^*$ в качестве основного параметра-адаптера трактора и уравнения (4) получим оптимальную развесовку $m_{удП}^* / m_{удК}^* \approx Y_{ПСТ}^* / Y_{КСТ}^*$ по осям, величину полного балласта $m_{удБ}^*$ и его составляющих $m_{удБП}^* / m_{удБК}^*$ с учетом комплекта сдвоенных задних колёс $m_{уд2К'}$

$$\begin{cases} A_{ц}^* = A_{р}^* + \phi_{крН}^* \cdot H_{кр} + f \cdot \bar{R}_g \\ m_{удЭ}^* = m_{уд0}^* + m_{удБП}^* + m_{удБК}^* + m_{уд2К'} \\ m_{удП}^* = m_{удЭ}^* \cdot A_{ц}^* = m_{уд0}^* \cdot A_{ц0} + m_{удБП}^* (A_{П+1}); \\ m_{удК}^* = m_{удЭ}^* (1 - A_{ц}^*); \\ m_{удБП}^* = m_{удЭ}^* \cdot A_{ц}^* - m_{уд0}^* \cdot A_{ц0} / (A_{П} + 1); \\ m_{удБК}^* = m_{удЭ}^* (1 - A_{ц}^*) - m_{уд0}^* (1 - A_{ц0}) + m_{удБП}^* \cdot A_{П}; \\ m_{удБ}^* = m_{удБП}^* + m_{удБК}^* \end{cases} \quad (6)$$

где $A_{р}^* = a_{р}^* / L = 0,34 - 0,36$; $H_{кр} = h_{кр} / L$; $\bar{R}_g = 0,5(\zeta_{Пг} + \zeta_{Кг})$ — относительные значения абсциссы центра масс в режиме рабочего хода, ордината точки прицепа и среднего радиуса колёс трактора; f — коэффициент сопротивления качению.

При моделировании рациональных уровней балластирования для операций разных групп целесообразно использовать относительные удельные параметры-адаптеры трактора с установленной снаряжённой массой $m_{уд0}$.

$$\lambda m_{удЭ}^* (\lambda m_{удП}^*) = m_{удЭ}^* (m_{удП}^*) / m_{уд0} \quad \text{и} \quad \lambda A_{ц}^* = A_{ц}^* / A_{ц0}$$

Тогда оптимальная степень балластирования определяется из условий:

$$\begin{cases} \lambda_{БП}^* = m_{удБП}^* / m_{уд0} = (\lambda m_{уд}^* \cdot \lambda A_{ц}^* - 1) \cdot A_{ц0} / (A_{П} + 1) \\ \lambda_{БК}^* = m_{удБК}^* / m_{уд0} = (\lambda m_{уд}^* - 1) - \lambda_{БП}^* \\ \lambda_{Б}^* = (\lambda_{БП}^* + \lambda_{БК}^*) = (\lambda m_{уд}^* - 1) \end{cases} \quad (7)$$

Влияние степени балластирования и абсциссы $A_{ц}^*$ на коэффициенты нагрузки передней ($\lambda_{П}$) и задней ($\lambda_{К}$) выразится в виде

$$\begin{cases} \lambda_{П}^* = (Y_{П}^* / Y_{П0}^*)_{СТ} = (\lambda m_{уд}^* \cdot \lambda A_{ц}^* - 1) \cdot A_{ц0} \\ \lambda_{К}^* = (Y_{К}^* / Y_{К0}^*)_{СТ} = \lambda m_{уд}^* - \lambda_{П}^* - 1 \end{cases} \quad (8)$$

При сдвигании задних колёс с $m_{уд2К'}$ удельная масса трактора возрастает до уровня $m_{уд2К'}^* = m_{удЭ}^* (\eta_{ТН2К'} / \eta_{ТН})$. Тогда относительный уровень переднего балласта вычисляется согласно

$$\lambda_{БП2К'}^* = (\lambda m_{уд}^* \cdot \lambda A_{ц}^* - 1) A_{ц0} / (A_{П} + 1) \quad (9)$$

где $\lambda m_{уд}^* = m_{уд2К'}^* / (m_{уд0} + m_{уд2К'}^*)$; $\lambda A_{ц}^* = A_{ц2К'}^* / A_{ц02К'}^*$.

Рациональное балластирование колёсных 4к4а тракторов разной комплектации представлено в табл.1

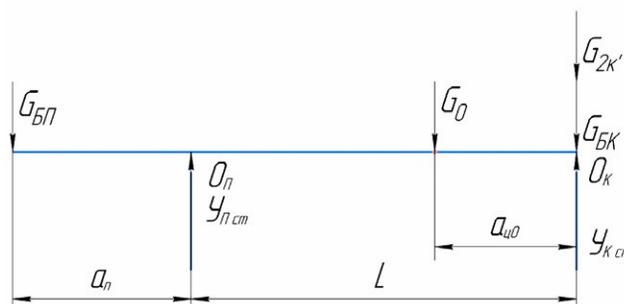


Рис. 1. Схема балластирования колёсного 4к4а трактора. Fig. 1. Ballasting scheme for a 4k4a wheeled tractor.

Установленные по результатам моделирования, с использованием экспериментальных зависимостей $\eta_T = f(\varphi_{кр})$ [7], оптимальные и допустимые значения удельных параметров-адаптеров колёсных 4к4а тракторов на одинарных (1к) и сдвоенных задних (2к') колёсах (табл.) для разных технологий почвообработки позволили обосновать рациональные условия их производственной эксплуатации. Оптимальные (эталонные) значения удельной массы $\bar{m}_{удэ}^* = 67,3(1к) - 70,0(2к')$ кг/кВт при $\bar{V}_{н1}^* = 2,50$ м/с определяют эксплуатационную массу m_s^* , номинальное тяговое усилие $P_{крн}$ и класс трактора с полным балластом для выполнения операций 1 гр. в скоростном интервале 7,6–10,4 км/ч при $\alpha_{ц} = 0,46 - 0,48$. Снижение на 16 и 33% удельной массы для операций 2 и 3 гр. достигается за счет частичного балластирования при $m_{уд3}^* \geq m_{уд0}^*$. Наиболее рациональным вариантом при $m_{уд0}^* \geq m_{уд3}^*$ является ограничение массы полного балласта до $m_{удБ}^* \leq 0,24 m_{уд0}^*$ при $\bar{m}_{уд min}^* = m_{уд2}^*$ и $A_{ц}^* = 0,42 - 0,43$ для использования в интервале рабочих скоростей 9,4–13,0 км/ч.

При установленных [8] средних значениях коэффициентов $\xi_{N_1} = \xi_{N_2} = 0,960 - 0,970$ современных тракторных дизелей с мехатронными системами управления

$$\begin{cases} m_{Э(1К)}^* = 65,0 \cdot N_{э3} = 62,7 \cdot N_{сн} \\ m_{Э(2К')}^* = 67,6 \cdot N_{э3} = 65,2 \cdot N_{сн} \\ \bar{m}_{Э min(1К)}^* = 55,7 \cdot N_{э3} = 54,0 \cdot N_{сн} \\ \bar{m}_{Э min(2К')}^* = 58,2 \cdot N_{э3} = 56,4 \cdot N_{сн} \end{cases} \quad (10)$$

Условием перехода трактора в смежный тяговый класс является диапазон регулирования эксплуатационной массы $(m_{эн}^* - m_{эмин}^*) \geq 2293$ кг, что достигается при $N_{сн} \geq 264$ кВт.

ОБСУЖДЕНИЕ

Приведенные соотношения (10) целесообразно использовать при оценке заявленных в технической характеристике параметров и подготовке трактора к эксплуатации.

Эталонные и оптимальные значения удельной массы тракторов разной комплектации должны выдерживаться при использовании на операционных технологиях разных по энергоёмкости групп для полной реализации потенциальных возможностей. Указанное обусловлено необходимостью реализации развиваемой мощности двигателя через силу тяги трактора в рациональном диапазоне и ограниченном агротехническими требованиями скоростном интервале. Если эксплуатационная масса трактора будет превышать эталонную с полным балластом (для 1 гр.) или минимальную для 2 и 3 гр., агрегаты будут работать с пониженными скоростями и производительностью из-за недостаточной мощности двигателя. Выполнение малоэнергетических технологических операций 2–3 гр. трактором с полным балластом повышает вредное воздействие движителей на почву и увеличивает до 0,7–0,9 л/ч расход топлива на перемещение одной тонны излишней массы. При недостаточной массе трактора мощность двигателя реализуется не полностью из-за ограничений тягово-скоростного режима по буксованию и технологическим требованиям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выборе и подготовке к эксплуатации колёсных тракторов 4к4а нового поколения на одинарных (1к) и сдвоенных задних (2к') колёсах следует руководствоваться правилами:

- оптимальное значение удельной массы для отвальной вспашки при скорости $\bar{V}_{н1}^* = 2,50$ м/с (9,0 км/ч) составляет 67,3(1к)–70,0(2к') кг/кВт и принимается в качестве эталонной, определяющий

Таблица 1. Рациональное балластирование колёсных 4к4а тракторов разной комплектации ($A_{ц0} = 0,40, A_{ц1} = 0,40, m_{уд2к'} = 4,50$ кг/кВт)

Table 1. Reasonable ballasting of wheeled 4k4a tractors of various configurations ($A_{ц0} = 0,40, A_{ц1} = 0,40, m_{уд2к'} = 4,50$ kg/kW)

Группа операций	$V_{н}^*, \frac{м}{с} / \frac{км}{ч}$	Комплекта-ция	$A_{ц}^*$	$m_{уд0} = 50$ кг/кВт			$m_{уд0} = 55$ кг/кВт		
				$m_{уд}^*, \frac{кг}{кВт}$	$\frac{m_{удБ}^*}{m_{уд2к'}}, \frac{кг}{кВт}$	$\frac{m_{удБП}^*}{m_{удБК}^*}, \frac{кг}{кВт}$	$m_{уд}^*, \frac{кг}{кВт}$	$\frac{m_{удБ}^*}{m_{уд2к'}}, \frac{кг}{кВт}$	$\frac{m_{удБП}^*}{m_{удБК}^*}, \frac{кг}{кВт}$
1	2,5/	1к	0,46	67,3	17,3/0	7,8/9,5	67,3	12,3/0	6,4/5,9
	9,0	2к'	0,45	70,3	10,8/4,5	3,2/7,6	70,3	10,8/4,5	6,9/3,9
2	2,90/	1к	0,43	58,0	8,0/0	4,9/3,1	58,0	3,0/0	3,0/0
	10,5	2к'	0,42	60,6	10,6/4,5	3,8/2,3	60,6	1,1/4,5	1,1/0
3	3,33/	1к	0,42	52,0	2,0/0	2,0/0	58,0	3,0/0	3,0/0
	12,0	2к'	0,40	56,0	1,5/4,5	1,5/0	60,6	1,1/4,5	1,1/0

уровень массы m_3^* с полным балластом трактора заявленной эксплуатационной $N_{\text{еэ}}$ или номинальной $N_{\text{ен}}$ мощности $m_3^* = [65,0(1\kappa) - 67,6(2\kappa')] N_{\text{ен}} = [62,7(1\kappa) - 65,2(2\kappa')] N_{\text{ен}}$;

- удельная масса полного балласта, по условию обеспечения $\bar{m}_{\text{уд}2}^* = 58,0(1\kappa) - 60,6(2\kappa')$ кг/кВт на операциях 2 и 3 гр. при его снижении до минимального уровня, не должна превышать $0,24 m_{\text{уд}0}$;
- соотношение переднего и заднего, с учетом комплекта сдвигания колёс, балластных грузов должно обеспечивать рациональное распределение эксплуатационного веса (массы) трактора по осям, определяемое величиной относительной абсциссы центра масс при $A_{\text{цэ}}^* = 0,45 - 0,46$ и $A_{\text{ц}2/3}^* = 0,42 - 0,43$;
- рациональное использование трактора с полным балластом и минимальным ограничено интервалами рабочих скоростей $7,6 - 10,4$ км/ч на операциях 1 и 2 гр. соответственно;
- использование трактора с полным балластом на операциях 3 гр. при скорости $V_3^* \geq 12,0$ км/ч сопровождается повышением вредного воздействия движителей на почву и увеличением расхода топлива до $0,7 - 0,9$ л/ч для перемещения каждой тонны лишней массы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Н.И. Селиванов — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; В.Г. Шрам — редактирование текста рукописи;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Selivanov NI. *Formation of an innovative tractor fleet in agriculture of Krasnoyarsk*. Krasnoyarsk: KrasSAU; 2020. Accessed: 15.04.2024. (In Russ.) Available from: <https://e.lanbook.com/book/187240>
2. Agro-industrial complex of Krasnoyarsk Krai in 2020–2023. Information. analytical material of the Ministry of Agriculture of Krasn. Krai. Krasnoyarsk; 2024. (In Russ.) Accessed: 15.04.2024. Available from: <https://www.krsk.kp.ru/daily/27465/4670789>
3. Makeeva YuN. Increasing the efficiency of using tillage units when ballasting energy-saturated wheeled tractors [abstract of dissertation] Barnaul; 2017. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

* Шрам Вячеслав Геннадьевич,
канд. техн. наук,
доцент кафедры «Топливообеспечение
и горюче-смазочные материалы»;
адрес: Россия, 660041, Красноярск,
пр-кт Свободный, д. 82. стр. 6;
ORCID: 0000-0002-1415-1737;
eLibrary SPIN: 4003-3010;
e-mail: shram18rus@mail.ru

Н.И. Селиванов — экспертная оценка, утверждение финальной версии. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведённым исследованием и публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. N.I. Selivanov — search for publications on the topic of the manuscript, writing the text of the manuscript; V.G. Shram — editing the text of the manuscript; N.I. Selivanov — expert opinion, approval of the final version. The authors confirm that their authorship meets the international criteria of the ICMJE (all authors made a significant contribution to the development of the concept, conduct of the research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. Authors state that this research was not supported by any external sources of funding.

4. GOST 27021-86 Agricultural and forestry tractors. Traction classes. Moscow: IPK Izdatelstvo standartov; 1986. (In Russ.)
5. Kutkov GM, Gribov IV, Perevozchikova NV. Ballasting of tractors. *Tractors and agricultural machinery*. 2017;84(9):52–60. (In Russ.)
6. Selivanov NI, Makeeva YuN. Ballasting of wheeled tractors during soil cultivation. *Bulletin of KrasSAU*. 2015;5:77–81. (In Russ.)
7. Selivanov NI, Averyanov VV, Zaprudskiy VN, et al. Parameters-adapters of wheel tracks. *IOP Conf. Ser. : Earth Environ. Sci*. 2020;548. doi: 10.1088/1755-1315/548/6/062009
8. GOST 18509-88. Tractor and combine diesel engines. Bench testing methods. Moscow: IPK Izdatelstvo standartov; 1988. (In Russ.)

AUTHORS' INFO

* Vyacheslav G. Shram,
Cand. Sc. (Engineering),
Associate Professor of the Fuel Supply and Fuel,
Oil and Lubricants Department;
address: 82 Svobodny ave, unit 6, Krasnoyarsk, Russia, 660041;
ORCID: 0000-0002-1415-1737;
eLibrary SPIN: 4003-3010;
e-mail: shram18rus@mail.ru

Селиванов Николай Иванович,

д-р техн. наук,
профессор кафедры «Тракторы и автомобили»;
ORCID: 0000-0003-1595-1266;
eLibrary SPIN: 8026-5097;
e-mail zaprudskii@list.ru

Nikolay I. Selivanov,

Dr. Sci. (Engineering),
Professor of the Tractors and Automobiles Department;
ORCID: 0000-0003-1595-1266;
eLibrary SPIN: 8026-5097;
e-mail: zaprudskii@list.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author