

5. Damanskii, R.V., Formirovanie tekhnologicheskikh uslovii orudii dlia razuplotneniia pochvy. / R.V. Damanskii, M.S. Chekusov, A.A. Kem, E.M. Mikhailsov, A.N. Shmidt // Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2022. – No. 2 (46). – S. 138-144.

6. Damanskii, R.V., Keruchenko L.S., Chekusov M.S., Kem A.A., Mikhailsov E.M., Shmidt A.N. Issledovanie vliianiia traektorii dvizheniia chastits v semiaprovide soshnika pri poseve zernovykh kultur / R.V. Damanskii, L.S. Keruchenko, M.S. Chekusov, A.A. Kem, E.M. Mikhailsov, A.N. Shmidt // Vestnik Omskogo GAU. – 2022. – No. 4 (48). – S. 193-199.

7. Melnikov, S.V. Planirovanie eksperimenta v issledovaniakh selskokhoziaistvennykh protsessov / S.V. Melnikov, V.R. Aleshkin, P.M. Roshchin. – Moskva: Nauka, 1980. – 168 s.

8. Spirin, N.A. Metody planirovaniia i obrabotki rezultatov inzhenernogo eksperimenta: konspekt lektsii / N.A. Spirin, V.V. Lavrov / pod obshch. red.

N.A. Spirina. – Ekaterinburg: Izd-vo UGTU-UIPI, 2004. – 257 s.

9. Seialka «Omichka» SKP-2.1: ofitsialnyi sait OOO «SibzavodAgro». – Rezhim dostupa: <https://sibzavodagro.ru/tehnika/posevnaya/seyalka-skp-21?ysclid=luuvnw1fbo451012416> (10.04.2024).

10. Chekusov, M.S., Kem A.A., Mikhailsov E.M., Shmidt A.N., Damanskii R.V. Vozdeyvanie pshenitsy v zavisimosti ot sposoba poseva i vneseniia azotnykh udobrenii / M.S. Chekusov, A.A. Kem, E.M. Mikhailsov, A.N. Shmidt, R.V. Damanskii // Sibirskii vestnik selskokhoziaistvennoi nauki. – 2022. – T. 52. – No. 1. – S. 90-99.

11. Demchuk E.V., Sabiev U.K., Mialo V.V., Chupin P.V., Koval V.S. Rezultaty laboratornykh issledovani soshnika dlia raznourovnevnogo vyseva semian i vneseniia udobrenii // Traktory i selkhoz-mashiny. – 2019. – No. 3. – S. 12-18.



УДК 631.372:631.51

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-239-9-77-84

Н.И. Селиванов, С.В. Грищенко, И.В. Власов  
N.I. Selivanov, S.V. Grishchenko, I.V. Vlasov

## РАЦИОНАЛЬНЫЕ УРОВНИ БАЛЛАСТИРОВАНИЯ КОЛЕСНЫХ 4К4А ТРАКТОРОВ КИТАЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

### RATIONAL LEVELS OF DEAD WEIGHT LOADING OF WHEELED 4K4A TRACTORS MADE IN CHINA

**Ключевые слова:** колесный трактор, параметр-адаптер, уровень балластирования, технология почвообработки, потенциальные возможности.

Цель работы – обоснование рациональных уровней балластирования колесных 4к4а тракторов «Lovol» и «Agroarollo» на операциях почвообработки разной энергоемкости. Практика производственной эксплуатации китайских тракторов указанных моделей номинальной мощностью 60-102 кВт с регулируемой в диапазоне 18-24%-ной эксплуатационной массой, представляющих основу (59%) обновления парка сельских

товаропроизводителей Красноярского края, показывает, что отсутствие конкретных рекомендаций официальных дилеров по их адаптации к операционным технологиям почвообработки разной энергоемкости приводит к существенному снижению уровня реализации потенциальных возможностей и повышению топливных затрат из-за неправильного балластирования. В качестве основных параметров-адаптеров трактора к технологическому процессу приняты эталонная удельная, отнесенная к единице реализуемой мощности двигателя, масса  $m_{удэ}^*$  в номинальном тягово-скоростном режиме  $\varphi_{крн} = 0,400$  и  $V_{н1}^* = 2,50$  м/с и абсцисса центра

масс  $A_{ц}^*$ . Для оценки степени реализации потенциальных возможностей трактора использован комплексный показатель технологического уровня  $K_{э}^*$ . По условиям реализации потенциальных возможностей при  $K_{э}^* = 0,90-1,0$  представленные на региональном рынке указанные модели тракторов разных серий базовой комплектации и на сдвоенных задних колесах ( $2к'$ ) следует использовать: с полным балластом при  $m_{уд\max}^* = 67,3 \pm 3-70,0 \pm 3$  ( $2к'$ ) кг/кВт, соответствующей эксплуатационной массе  $m_{э}^* = (60-65) N_{ен}$  и  $A_{ц}^* = 0,46-0,48$  на отвальной вспашке и глубоком рыхлении почвы навесными плугами в скоростном интервале 7,3-10,0 км/ч; при минимальном балластировании на уровне  $m_{уд\min}^* = 55 \pm 3-60 \pm 3$  ( $2к'$ ) кг/кВт и  $m_{э\min}^* = (50-54) N_{ен}$  с  $A_{ц}^* = 0,41-0,43$  на безотвальной и поверхностной комбинированной обработке почвы в интервале 10,0-13,0 км/ч. Несоблюдение указанных условий снижает уровень реализации потенциальных возможностей до  $K_{э\min} = 0,70-0,85$ .

**Keywords:** *wheeled tractor, adapter parameter, dead weight loading level, tillage technology, potential opportunities.*

The research goal is to substantiate rational levels of dead weight loading of 4k4a wheeled tractors Lovol and Agroapollo on tillage operations of different energy intensi-

ty. The practice of operation of Chinese tractors of the specified models with a nominal power of 60–102 kW with an operating weight adjustable in the range of 18–24% representing the basis (59%) for updating the fleet of agricultural commodity producers in the Krasnoyarsk Region shows that the lack of specific recommendations from official dealers on their adaptation to operating tillage technologies of different energy intensity leads to a significant decrease in the level of realization of potential opportunities and increase in fuel costs due to improper dead weight loading. The main adapter parameters of the tractor for the technological process were as following: the reference specific mass referred to a unit of realized engine power in the nominal traction-speed mode and the abscissa of the center of mass. To assess the degree to which the potential capabilities of the tractor are realized, a complex index of the technological level was used. According to the conditions for realizing potential opportunities, the specified models of tractors of different series of basic configuration and on dual rear wheels presented on the regional market should be used: with full dead load corresponding to the operating mass at moldboard plowing and deep soil loosening with mounted plows in the speed range of 7.3–10.0 km h; with minimal dead weight loading at non-moldboard and surface combined tillage in the interval 10.0–13.0 km h. Failure to comply with these conditions reduces the level of realization of potential opportunities.

**Селиванов Николай Иванович**, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: zaprudskii@list.ru.

**Грищенко Светлана Владимировна**, ассистент, ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: shevcova.svetlan@mail.ru.

**Власов Иван Васильевич**, магистрант, ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: ivanvasilevich95@mail.ru.

**Selivanov Nikolay Ivanovich**, Dr. Tech. Sci., Prof., Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: zaprudskii@list.ru.

**Grishchenko Svetlana Vladimirovna**, Asst., Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: shevcova.svetlan@mail.ru.

**Vlasov Ivan Vasilevich**, master's degree student, Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: ivanvasilevich95@mail.ru.

## Введение

В структуре тракторного парка сельских товаропроизводителей Красноярского края универсальные и общего назначения колесные классической 4к4а компоновки тяговых классов 1,4-4,0 с номинальной мощностью двигателя 50-220 кВт (80-300 л.с.) [1] составляют более 70% от общего состава, из которых свыше 46% приходится на тракторы «Беларус» (МТЗ). Однако в обновлении парка указанных типоразмеров к 2022 г. ведущие позиции (59%) заняли тракторы четвертой генерации китайских производителей «Lovol» и «Agroapollo» при снижении до 37% приобретения продукции МТЗ. Основной причиной переориентации рынка стала сравнительная оценка товаропроизводителями технологического уровня, цены и надежности поставляемых тракторов.

Практика эксплуатации тракторов китайского производства с регулируемой в широком диапазоне (18-24%) эксплуатационной массой за счет балластных грузов показывает, что отсутствие конкретных рекомендаций официальных дилеров [2, 3] по их адаптации к операционным технологиям почвообработки разной энергоемкости приводит к существенному снижению уровня реализации потенциальных возможностей и повышению топливных затрат.

**Цель работы** – обоснование рациональных уровней балластирования колесных 4к4а тракторов «Lovol» и «Agroapollo» на операциях почвообработки.

**Задачи исследования:**

1) дать оценку показателей технологических свойств тракторов при балластировании;

2) обосновать уровни балластирования тракторов разной комплектации для зональных технологий почвообработки.

### Объекты и методы исследования

Установленные нормативы [4, 5], научно-методические рекомендации [6, 7], результаты моделирования и экспериментальной оценки [8] показателей технологического уровня колесных тракторов положены в основу решения поставленных задач.

1. По агротехническим требованиям и энергоемкости рабочего процесса операционные технологии основной и предпосевной обработки почвы разделены [9] на три группы с установленными номинальными значениями  $V_{нi}^*$  и интервалами  $(V_{min} - V_{max})_i^*$  рабочих скоростей: 1-я – отвальная вспашка оборотными (7,5±1,5 км/ч подгруппа 1.1) и скоростными (9,0±1,5 км/ч подгруппа 1.2) плугами; 2-я – безотвальная глубокая и посев (10,5±1,5 км/ч); 3-я – поверхностная и предпосевная (12,0±1,5 км/ч).

2. Рациональный тяговый диапазон  $(P_{кр min} - P_{кр max})^*$  трактора на одинарных (1к) и сдвоенных задних (2к') колесах по ГОСТ 27021-86 [4] ограничен минимальным  $\varphi_{кр min}^* = 0,35-0,36$  и максимальным  $\varphi_{кр max}^* = 0,45-0,47$  значениями коэффициента использования веса, соответствующим  $\eta_{Т max} = 0,665(1к)-0,690(2к')$  и допустимому по буксованию  $\delta_d \leq 0,16 \eta_{Т min}$

= 0,640(1к)-0,660(2к') с номинальным режимом  $\varphi_{крн}^* = 0,40$  при тяговом КПД  $\eta_{Тн} \rightarrow \eta_{Т max}$ .

3. При подготовке к технологическому процессу трактора с установленной номинальной  $N_{ен}$  мощностью двигателя за основной параметр-адаптер принята отнесенная к единице ее реализуемого значения  $N_{ep}^* = 0,930N_{ен}$  [2, 3] удельная эксплуатационная масса  $m_{удi}^* = m_{эi}^*/N_{ep}$  в номинальном тягово-скоростном режиме, уровень которой  $m_{удэ}^* = 67,3(1к)-70,0(2к')$  кг/кВт [9] для операций 1-й группы при  $V_{н1}^* = 2,5$  м/с (9,0 км/ч) с полным балластом является эталонным.

4. Оценка закономерностей балластирования и рационального использования выполнена для поставляемых на региональный рынок четырех серий (H, D, R, N) тракторов «Lovol» и пяти (F, G, H, J, L) «Agroapollo» разной комплектации и номинальной мощности 60-191 кВт (80-260 л.с.), путем сравнения их параметров-адаптеров с эталонными на основе технических характеристик и разработанных рекомендаций.

### Результаты исследования

Эталонное значение удельной массы определяет эксплуатационную массу  $m_{э}^*$ , номинальное тяговое усилие  $P_{крнэ}^*$  и основной класс трактора, а также рациональный тягово-скоростной диапазон использования при полном балластировании

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{удэ}^* = \eta_{Тн}/g * \varphi_{крн}^* * V_{н1}^* * 10^{-3}; \\ m_{э}^* = m_{удэ}^* * \xi_{N} * N_{ен}; \\ P_{крнэ}^* = m_{э}^* * g * \varphi_{крн}; \\ (P_{кр min} - P_{кр max})_э^* = m_{э}^* * g * (\varphi_{кр min} - \varphi_{кр max})^*; \\ V_{minэ}^* = \eta_{Т min}/g * \varphi_{кр max}^* * m_{удэ}^* * 10^{-3}; \\ V_{maxэ}^* = \eta_{Т max}/g * \varphi_{кр min}^* * m_{удэ}^* * 10^{-3}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Для операционных технологий 2-й и 3-й групп указанные показатели определяются аналогично при установленных значениях удельной массы:

$$m_{уд2}^* = 58,05 (1к) - 60,3(2к) \text{ кг/кВт}; m_{уд3}^* = 50,5 (1к) - 52,5(2к) \text{ кг/кВт}.$$

Фактором, определяющим достижение  $m_{уд2}^*$  и  $m_{уд3}^*$ , является удельная масса снаряженного трактора  $m_{уд0}$  без балласта. При  $m_{удi}^* \leq m_{уд0} = m_{удэ}^* - m_{удБ}^*$  на операциях 2-й и 3-й групп следует принимать  $m_{уд min}^* \geq m_{уд0}^*$ .

Оптимальное значение абсциссы центра масс  $A_{ц}^*$  трактора с полным или частичным балластированием достигается рациональным рас-

пределением массы съемного балласта  $m_{удБ}^*$  на оси задних колес  $m_{удБК}^*$  и переднем кронштейне  $m_{удБП}^*$  при установленной колесной базе  $L$ ,  $A_{ц0}$  и  $A_{п} = a_{п}/L$  (рис. 1):

$$\left\{ \begin{array}{l} A_{ц}^* = A_{цр} + H_{пр} * \varphi_{крн} + f * Rg; \\ m_{удБ}^* = m_{удБК}^* + m_{удБП}^*; \\ m_{удБП}^* = (m_{удэ}^* * A_{цэ}^* - m_{уд0} * A_{ц0}) / (A_{п} + 1), \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $A_{цр}^* = a_p^*/L = 0,34-0,36$ ;  $H_{кр} = h_{кр}/L$ ;  $\bar{R}_g = 0,5(r_{пд} и r_{кд})/L$  – относительные значения, соответственно, абсциссы центра масс в режиме рабочего хода, ординаты точки прицепа и среднего радиуса колес трактора;  
 $f$  – коэффициент сопротивления качению.

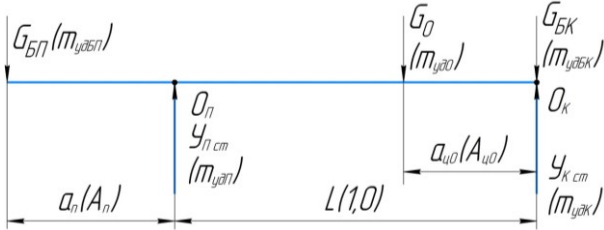


Рис. 1. Расчетная схема балластирования колесных 4к4а тракторов «Lovol» и «Agroapollo»

По результатам анализа технических характеристик тракторов указанных моделей установлены соотношения снаряженной  $m_0$  и эксплуатационной (с полным балластом) масс базовой  $m_{э max}$  (1к) и дополнительной  $m_{э max}$  (2к) комплектаций (рис. 2). С вероятностью 91% зависимости  $m_0(m_{э max}) = \bar{\alpha}_i(N_{ен})$  имеют линейный характер при установленных средних значениях коэффициентов ( $\bar{\alpha}_i$ ), определяющих соответствующие уровни балластирования  $m_{удБ}$  и удельной массы  $\bar{m}_{уд0}(\bar{m}_{удэ max})_i$  тракторов (табл. 1).

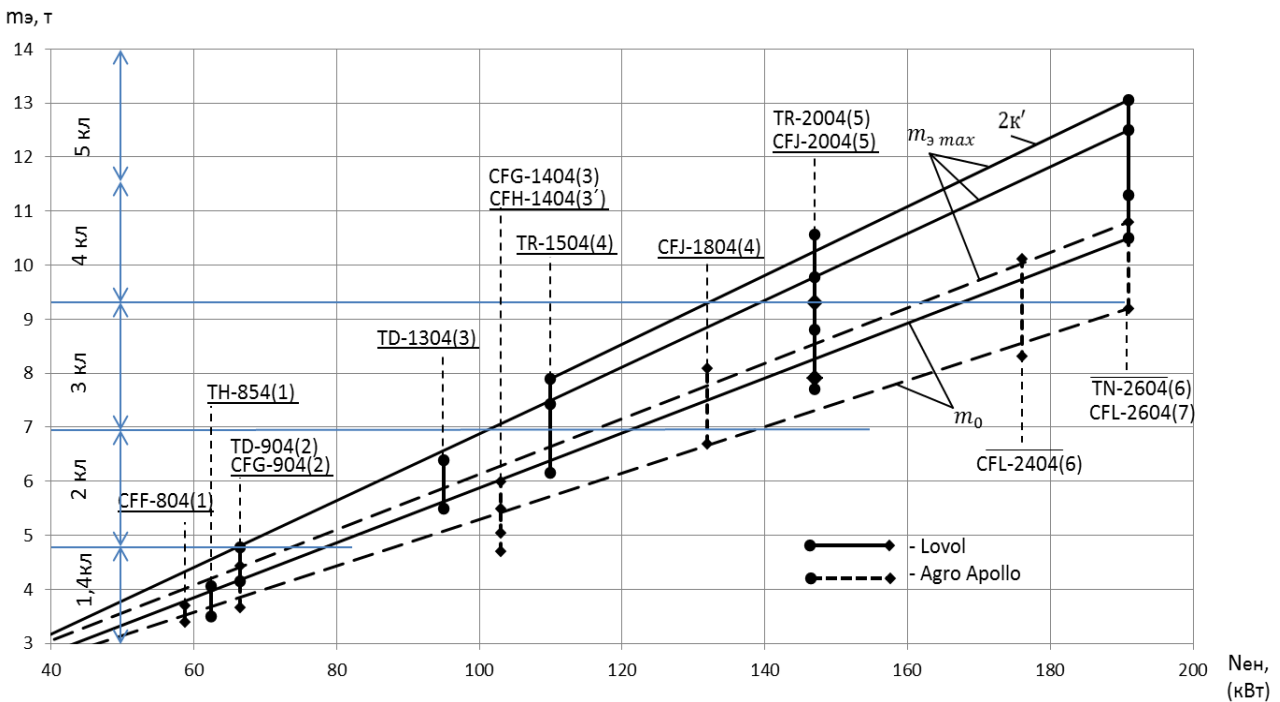


Рис. 2. Зависимости эксплуатационной ( $m_{э max}$ ) и снаряженной ( $m_0$ ) масс тракторов от номинальной мощности

Сравнительная оценка удельной массы тракторов разных серий и комплектаций с полным балластом и без балласта с эталонной показывает корректность выбора снаряженной массы и уровня балластирования. При этом (рис. 2) значения  $m_{уд max}$  несущественно зависят от комплектации, что достигается смещением номинального тягового режима при сдвигании задних колес до  $\varphi_{крн}^*(2к) \leq 0,41$ .

Характерной особенностью тракторов является меньшая эталонной степень полного балластирования  $\lambda m_{удБ max} = m_{удБ max}/m_{уд0}$ , составляющая 18-20% на одинарных (1к) и 24-25% на сдвоенных задних колесах с учетом

массы дополнительного (2к) комплекта, что обусловлено значениями  $m_{уд0}$ , превышающими оптимальный уровень  $m_{удз}^*$  для операций третьей группы. При этом удельная масса тракторов «Lovol» при полном балласте на 7-8% превышает эталонную, что приводит к соответствующему снижению номинального значения  $V_{н1}^*$  и рационального интервала  $(V_{min} - V_{max})_1^*$  рабочей скорости (табл. 1). У тракторов «Agroapollo»  $\bar{m}_{уд max}$  меньше эталонной на 5-6% при возрастании скоростного режима на указанную величину.



Таблица 1

Удельные параметры и тягово-скоростные режимы тракторов «Lovol» и «Agroapollo» при снаряженной и эксплуатационной массе

Модели		$m_{уд}$ , кг/кВт	$\bar{m}_{удБ}$ , кг/кВт	$m_{удБП}$ , кг/кВт	$V_H$ , м/с (км/ч)	$(V_{min} - V_{max})$ , км/ч	$P_{кр\ удн}^*$ , кН/кВт	$\bar{A}_{ц}$	Группы техн. п/о
Lovol	$m_{уд0}$	60,6	0	0	2,78(10,0)	8,6-11,2	0,237	0,40	2+3
	$m_{уд\ min}^*$	62,0	1,4	1,4	2,70(9,7)	8,4-10,9	0,240	0,42	2+3
	$m_{уд\ max}$	72,0	11,4	5,8-6,8	2,34(8,4)	7,2-9,4	0,282	0,46	1.1+1.2+2
	$m_{удЭ}^*$	67,3	6,7	4,8	2,50(9,0)	7,6-10,4	0,264	0,46	1.1+1.2+2
Agroapollo	$m_{уд0}$	53,7	0	0	3,13(11,3)	9,7-12,6	0,211	0,40	2+3
	$m_{уд\ min}^*$	56,0	2,3	2,3	3,00(10,8)	9,3-12,1	0,220	0,43	2+3
	$m_{уд\ max}$	63,4	9,7	5,5-6,0	2,65(9,6)	8,2-10,7	0,249	0,46	1.2+2
	$m_{уд2к\ max}^*$	66,7	13,0	5,6-6,1	2,64(9,5)	8,2-10,7	0,261	0,45	1.2+2
	$m_{уд2к\ min}^*$	60,4	6,7	2,2	2,91(10,5)	9,2-12,0	0,237	0,42	2+3

С учетом трудоемкости переоснащения и соответствия уровня удельных параметров оптимальным наиболее целесообразно использовать: тракторы «Lovol» с  $m_{удЭ}^* = 67,3$  кг/кВт и балластом  $\frac{m_{удБ}^*}{m_{удБП}^*} = 6,7/4,8$  кг/кВт на операциях 1-й и 2-й групп в скоростном интервале навесных агрегатов 7,6-10,4 км/ч и на операциях 2-й и 3-й групп при скорости 9,7-10,9 км/ч с  $m_{уд\ min}^* = 62,0$  кг/кВт и  $m_{удБП}^* = 1,4$  кг/кВт, при сдвигании задних колес (2к) на операциях 2-й и 3-й групп с  $m_{уд2к}^* = 68,1$  кг/кВт и  $m_{удБП}^* = 3,1$  кг/кВт; тракторы «Agroapollo» с  $m_{удЭ}^* = m_{уд\ max} = 63,4$  кг/кВт и полным балластом на операциях 1-й и 2-й групп в интервале 8,2-10,7 км/ч и на операциях 2-й и 3-й групп при скорости 10,7-12,1 км/ч с  $m_{уд\ min}^* = 56,0$  кг/кВт и  $m_{удБП}^* = 2,3$  кг/кВт, в комплектации (2к)  $m_{уд\ min}^* = 60,4$  кг/кВт и  $m_{удБП}^* = 2,2$  кг/кВт.

Для наиболее объективной оценки степени реализации потенциальных возможностей тракторов указанных моделей в технологиях почвообработки при установленных значениях  $m_{уд}^*$  и  $m_{уд\ max}$  использован комплексный показатель технологического уровня  $K_э$  [10], представляющий произведение обобщенных критериев эффективности по чистой производительности  $K_W = \lambda\eta_T$ , эксплуатационной массе  $K_m = (2 - \lambda m_{уд})$  и расходу топлива

$K_E = (2 - 1/\lambda\eta_T^2)$  с учетом занятости по времени на операциях разных групп:

$$K_э = K_W \cdot K_m \cdot K_E, \quad (3)$$

где  $\lambda\eta_T = \bar{\eta}_{Ti}/\eta_{Tн}^*$ ;  $\lambda m_{уд} = \bar{m}_{уд\ max}/m_{уд}^*$ ;

$\bar{\eta}_{Tн}$ ,  $m_{уд}^*$  – эталонные параметры колесного 4к4а трактора;

$\eta_{Ti} \neq \eta_{Tн}$  – тяговый КПД, соответствующий  $\bar{\varphi}_{крi} \neq \varphi_{крн}$  при реализации технологического процесса трактором с  $m_{уд\ max} \neq m_{уд}^*$ .

Из условия, что  $K_{э\ max} = 1,0$  при  $\lambda\eta_T \geq 1,0$  и  $\lambda m_{уд} \leq 1,0$  установлены ограничения  $K_W = K_m = K_E = 1,0$ .

Приведенные результаты моделирования (табл. 2) показывают, что тракторы «Lovol» с полным балластом целесообразно использовать только на операциях 1-й группы в скоростном интервале 7,2-9,4 км/ч при  $K_{э1} = 0,930 > K_{э\ min}^* = 0,88-0,90$ . Снижение уровня балластирования до  $m_{удЭ}^* = 67,3$  кг/кВт обеспечивает  $K_{э1\ max} = 1,0$  с рациональным интервалом 7,6-10,4 км/ч. Главное назначение полного балласта – оптимальная развесовка ( $\bar{A}_{ц} = 0,46$ ) трактора базовой (1к) комплектации в составе навесных агрегатов. На операциях 2-й и 3-й групп при  $\bar{m}_{уд\ min}^* = 62,0$  кг/кВт уровень  $K_э$  на 31 и 42% превышает его значения с полным балластом. В условиях равномерной занятости в технологиях почвообработки рациональные уровни  $m_{удЭ}^*$  и  $m_{уд\ min}^*$  могут быть приняты в качестве основных при  $\bar{K}_{э1-2} = 0,965$  и  $\bar{K}_{э1-3} = 0,885$ .

Таблица 2

## Средненные показатели технологического уровня колесных тракторов «Lovol» и «Agroapollo»

Модельный ряд	Показатель	Значения показателя при $m_{уд}^*/m_{удmax}$			
		1-я группа	2-я группа	3-я группа	группы 1-3 группы 1-2
		$m_{удэ}^*/m_{удmax}$	$m_{удmin}^*/m_{удmax}^*$		
«Lovol» ( $N_{ен} = 62,5-191,2$ кВт) $m_{удmax} = 72,0$ кг/кВт	$K_W$	1,0/1,0	1,0/0,977	0,969/0,962	0,990/0,980 1,0/0,989
	$K_m$	1,0/0,930	0,931/0,759	0,800/0,574	0,910/0,754 0,965/0,845
	$K_E$	1,0/1,0	1,0/0,953	0,935/0,920	0,978/0,958 1,0/0,977
	$K_3$	1,0/0,930	0,931/0,707	0,725/0,508	0,885/0,708 0,965/0,816
«Agroapollo» ( $N_{ен} = 58,8-191,2$ кВт) $m_{удmax} = 63,4$ кг/кВт	$K_W$	0,985/0,985	0,989/1,0	1,0/0,973	0,991/0,986 0,987/0,993
	$K_m$	1,0/1,0	1,0/0,907	0,891/0,745	0,964/0,884 1,0/0,954
	$K_E$	0,969/0,969	0,979/1,0	1,0/0,943	0,983/0,971 0,974/0,985
	$K_3$	0,955/0,955	0,968/0,907	0,891/0,684	0,938/0,846 0,962/0,933

Балластирование тракторов «Agroapollo» при  $m_{удэ}^* \approx m_{удmax} = 63,4$  кг/кВт обеспечивает более высокий уровень реализации потенциальных возможностей на операциях 1-й группы ( $K_{31} = 0,955$ ) и 1-2-й групп ( $\bar{K}_{31-2} = 0,933$ ). При рабочей скорости выше 10,7 км/ч на операциях 2-й и 3-й групп  $m_{удmin}^* = 56,0$  кг/кВт за счет установки балласта  $m_{удБП} = 2,3$  кг/кВт с развесовкой  $A_{ц}^* = 0,42-0,43$  повышает уровень реализации потенциальных возможностей трактора до 0,968 и 0,891. При равномерной занятости на операциях разных групп соблюдение предлагаемых условий балластирования обеспечивает  $\bar{K}_{31-2} = 0,962$  и  $\bar{K}_{31-3} = 0,938$ , что на 3 и 11% выше, чем при  $m_{удmax}$ .

Приведенные показатели технологического уровня целесообразно принять в качестве основополагающих для оптимизации удельных параметров-адаптеров и эксплуатационной массы при балластировании колесных тракторов отдельных типоразмеров и серий указанных производителей с  $m_{удо}^* = 55 \pm 3$  кг/кВт и  $m_{удэ}^* = 67 \pm 3$  кг/кВт базовой комплектации, а также на сдвоенных задних колесах при  $m_{уд2к}^* = 70 \pm 3$  кг/кВт. Рациональные диапазоны эксплуатационной массы тракторов составляют: с полным балластом для операций 1 группы  $m_{эн}^* = (60-65)N_{ен}$  при  $A_{ц1}^* = (0,46-0,48)$ ; с мини-

мальным балластированием на операциях 2-й и 3-й групп  $m_{эмmin}^* = (50-54)N_{ен}$  при  $A_{ц(2-3)}^* = 0,41-0,43$ .

Предлагаемые условия балластирования существенно повышают трудоемкость эксплуатации тракторов, однако требуют более высокой квалификации механизаторов и применения дополнительных технических средств. Без грамотного использования балласта потенциальные возможности трактора не будут реализованы. Так, выполнение технологических операций 2-й и 3-й групп трактором с полным балластом повышает вредное воздействие движителей на почву и расход топлива на перемещение избыточной массы. Например, при скорости  $V_3^* = 12,0$  км/ч затраты мощности на перемещение одной тонны балласта достигают 3,3 кВт, а расход топлива 0,7-0,9 л/ч. Без балластирования на операциях 1-й группы снижение уровня реализации мощности двигателя достигает 3-5% из-за ограничения тягового режима по буксованию движителей.

### Заключение

1. Характерным признаком колесных 4к4а тракторов «Lovol» и «Agroapollo» четвертой генерации мощностью 60-191 кВт (80-260 л.с.), представляющих основу обновления регионального рынка, является соблюдение общепринятых в мировом тракторостроении принципов

технологической адаптации на основе оптимизации уровня и распределения по осям эксплуатационной массы за счет балластирования.

2. Наиболее адаптированы к операционным технологиям почвообработки 1-й группы (отвальная вспашка) с эталонными значениями удельной массы  $m_{удэ}^* = 67,3(1к)$  и  $70,0(2к')$  кг/кВт при  $V_{н1}^* = 2,50$  м/с и  $A_{ц}^* = 0,46-0,48$  тракторы «Агроаролло» мощностью свыше 102,9 кВт с полным балластом, составляющим от 18 до 21% снаряженной массы  $\bar{m}_{уд0} = 53,7$  кг/кВт при  $A_{ц0} = 0,40$  и обеспечивающим  $\bar{m}_{удmax} \leq m_{удэ}^*$ . Тракторы «Lovol» всех серий при полном балласте 18-26% от  $\bar{m}_{уд0} = 60,6$  кг/кВт превышают на 4-9%  $m_{удэ}^*$ , что снижает номинальную скорость до  $V_{н1} = 2,3-2,4$  м/с.

3. По условиям реализации потенциальных возможностей при  $K_3^* = 0,90-1,0$  указанные модели тракторов разных серий базовой комплектации и на сдвоенных задних колесах (2к) следует использовать: с полным балластом при  $m_{эН}^* = (60-65)N_{ен}$ ,  $A_{ц}^* = 0,46-0,48$  на отвальной вспашке и глубоком рыхлении почвы в скоростном интервале 7,3-10,0 км/ч; с  $m_{эmin}^* = (50-54)N_{ен}$  при минимальном балластировании и  $A_{ц}^* = 0,41-0,43$  на безотвальной и поверхностной комбинированной обработке почвы с рабочей скоростью 10,0-13,0 км/ч.

4. Выполнение операций 3-й группы при  $V_3 \geq 12,0$  км/ч тракторами представленных серий с полным балластом повышает вредное воздействие движителей на почву и расход топлива, из условия 0,7-0,9 л/ч на перемещение 1 т избыточной массы, при снижении уровня реализации потенциальных до  $K_3^- min = 0,75-0,80$ .

### Библиографический список

1. Агропромышленный комплекс Красноярского края в 2020-2023 гг.: информ. аналит. материал МСХ Красноярского края. Красноярск. – URL: <https://www.krsk.kp.ru/daily/27465/4670789> (дата обращения: 04.03.2024). – Текст: электронный.

2. Тракторы Lovol, инструкция по эксплуатации. – URL: <https://lovol.com> (дата обращения: 04.03.2024). – Текст: электронный.

3. Тракторы Агроаролло, инструкция по эксплуатации. – URL: <https://agroapollo.ru> (дата обращения: 04.03.2024). – Текст: электронный.

4. ГОСТ 27021-86. Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы

= Agricultural and forestry tractors. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1986. – 14 с. – Текст: непосредственный.

5. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний = Tractor and combine diesels. Bench testing methods. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1988. – 70 с. – Текст: непосредственный.

6. Кутьков, Г. М. Балластирование тракторов / Г. М. Кутьков, И. В. Грибов, Н. В. Перевозчикова. – Текст: непосредственный // Тракторы и сельхозмашины. – 2017. – Т. 84, № 9. – С. 52-60.

7. Потенциальные возможности повышения технологического уровня колесных тракторов высокой мощности / Н. И. Селиванов [и др.]. – Текст: непосредственный // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Т. 90, № 4. – С. 351-359.

8. Макеева, Ю. Н. Повышение эффективности использования почвообрабатывающих агрегатов при балластировании энергонасыщенных колесных тракторов: автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук / Макеева Юлия Николаевна; Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. – Барнаул, 2017. – 18 с. – Текст: непосредственный.

9. Селиванов, И. И. Технологический уровень колесных тракторов разной комплектации / И. И. Селиванов, С. В. Грищенко. – DOI 10.53083/1996-4277-2024-232-2-106-112. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – № 2. – С. 106-112.

10. Селиванов, Н. И. Технологические свойства колесных тракторов: учебное пособие / Н. И. Селиванов. – Красноярск: КрасГАУ, 2019. – 308 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/149612> (дата обращения: 04.03.2024). – Режим доступа: Электронно-библиотечная система Лань. – Текст: электронный.

11. ГОСТ 30750-2001. Тракторы сельскохозяйственные. Определение положения центра тяжести = Agricultural tractors. Determining the position of the center of gravity. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 6 с. – Текст: непосредственный.

### References

1. Agropromyshlennyi kompleks Krasnoiarского kraia v 2020-2023 gg./ Inform. analit. material MSKh Krasn. kraia. Krasnoiarск [Elektronnyi resurs] // URL: <https://www.krsk.kp.ru/daily/27465/4670789>

kp.ru/daily/27465/4670789 (data obrashcheniia 04.03.2024).

2. Traktory Lovol, instruktsiia po ekspluatatsii [Elektronnyi resurs] // URL: <https://lovol.com> (data obrashcheniia 04.03.2024).

3. Traktory Agroapollo, instruktsiia po ekspluatatsii [Elektronnyi resurs] // URL: <https://agroapollo.ru> (data obrashcheniia 04.03.2024).

4. GOST 27021-86. Traktory selkokhoziaistvennye i lesokhoziaistvennye. Tiagovye klassy = Agricultural and forestry tractors. Moskva: IPK Izdatelstvo standartov, 1986. – 14 s.

5. GOST 18509-88. Dizeli traktornye i kombainovye. Metody stendovykh ispytaniy = Tractor and combine diesels. Bench testing methods. Moskva: IPK Izdatelstvo standartov, 1988. – 70 s.

6. Kutkov, G.M. Ballastirovanie traktorov / G.M. Kutkov, I.V. Gribov, N.V. Perevozchikova // Traktory i selkhoz mashiny. – 2017. T. 84, No. 9. – S. 52-60.

7. Potentsialnye vozmozhnosti povysheniia tekhnologicheskogo urovnia kolesnykh traktorov vysokoi moshchnosti / Selivanov N.I. [i dr.] //

Traktory i selkhoz mashiny. 2023. T. 90, No. 4. S. 351–359.

8. Makeeva, Iu.N.: spetsialnost 05.20.01 «Tekhnologii i sredstva mekhanizatsii selskogo khoziaistva»: avtoreferat na soiskanie kandidata tekhnicheskikh nauk / Makeeva, Iu.N.; Altaiskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet im. I.I. Polzunova. – Barnaul, 2017. – 18 s.

9. Selivanov, I.I. Tekhnologicheskii uroven kolesnykh traktorov raznoi komplektatsii / I.I. Selivanov, S.V. Grishchenko // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – No. 2. – S. 106-112.

10. Selivanov, N.I. Tekhnologicheskie svoistva kolesnykh traktorov: uchebnoe posobie. – Krasnoarsk: KrasGAU, 2019. – 308 s. [Elektron. resurs] // Lan: elektronno-bibliotchnaia sistema. – Rezhim dostupa: <https://e.lanbook.com/book/149612>. (data obrashcheniia 04.03.2024).

11. GOST 30750-2001. Traktory selkokhoziaistvennye. Opredelenie polozheniia tsentra tiazhesti = Agricultural tractors. Determining the position of the center of gravity. Moskva: IPK Izdatelstvo standartov, 2002. – 6 s.



УДК 621.43.038

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-239-9-84-90

Ф.Р. Сафин, Р.М. Баширов, Р.Ж. Магафуров  
F.R. Safin, R.M. Bashirov, R.Zh. Magafurov

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

### COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR DIAGNOSING AND REGULATING FUEL EQUIPMENT OF AUTOMOBILE AND TRACTOR DIESEL ENGINES

**Ключевые слова:** дизель, аппаратура топливная, расход топлива, противодавление, метод оперативный, испытания полевые.

Практика показывает, что в большинстве случаев основной причиной неисправностей дизелей оказывается разрегулировка их топливной аппаратуры. В «полевых» условиях это невозможно выявить из-за отсутствия необходимых для диагностирования топливной аппаратуры простых устройств. Другим серьезным недостатком действующего стационарного метода диагностирования и регулирования топливной аппаратуры является существенное отличие условий регулировки от условий её работы на дизеле. Усовершенствованный оперативный метод регулирования топливной аппаратуры предложен БГАУ, основанный на использовании самого дизеля в качестве регулировочного стен-

да при работе его на части цилиндров с пропуском впрысков топлива. При этом, в отличие от известных методов, дизель работает не только на номинальных оборотах, но и на номинальных подачах топлива, а секции топливной аппаратуры неработающих цилиндров регулируются без демонтажа с дизеля. Сохранность отрегулированных значений цикловых подач секций топливной аппаратуры и равномерности топливоподачи при работе на дизеле обеспечивается регулировкой с собственными топливопроводами и форсунками, использованием топлива, подогретого работающим дизелем, и созданием противодавления, близкого к цилиндровому. Благодаря всему этому метод оказывается оперативным, а условия регулирования топливной аппаратуры близкими к таковым при работе её на дизеле. Не менее важно и то, что на холостом ходу дизеля достигается такие же качества смесеобразова-