

## БАЛЛАСТИРОВАНИЕ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ НА ОБРАБОТКЕ ПОЧВЫ

В статье сформулированы модели, разработаны алгоритм и номограмма рационального балластирования колесных тракторов 4К4а для адаптации к зональным технологиям почвообработки.

**Ключевые слова:** алгоритм, балластирование, модели, номограмма, технология, удельная материалоемкость, колесный трактор.

*N.I. Selivanov, Yu.N. Makeeva*

## WHEEL TRACTOR BALLASTING IN TILLAGE

The models are formulated; the algorithm and the nomogram of the 4K4a wheel tractor rational ballasting for the adaptation to the zonal tillage technologies are developed in the article.

**Key words:** algorithm, ballasting, models, nomogram, technology, specific material capacity, wheel tractor.

**Введение.** Основу современного тракторного рынка составляют унифицированные мобильные энергетические средства колесной формулы 4к4а разных типоразмеров с изменяющейся в широком диапазоне эксплуатационной массой путем балластирования, установки сдвоенных колес и применения догружающих устройств [1] для технологической адаптации. В работах [2, 3] обоснованы оптимальные значения показателя технологичности – удельной материалоемкости  $m_{y\partial}^*$  колесных тракторов на одинарных и сдвоенных колесах для установленных групп операций основной обработки почвы. Однако в практике эксплуатации обеспечение  $m_{y\partial i}^*$  современных колесных тракторов на операциях почвообработки разных групп изменением балластирования, как правило, не производится из-за отсутствия соответствующих рекомендаций при достаточно высокой трудоемкости операции. Поэтому разработка рекомендаций по балластированию колесных тракторов при использовании в составе почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения является актуальной и практически значимой.

**Цель исследований.** Обоснование условий балластирования колесных 4к4а тракторов для адаптации к технологиям почвообработки.

**Задачи исследований.** Сформировать модели и разработать алгоритм рационального балластирования тракторов; обосновать параметры дополнительного балласта для адаптации тракторов к технологиям почвообработки; разработать номограмму определения параметров дополнительного балласта при использовании тракторов на основной обработке почвы.

**Материалы и методы исследований.** Решение поставленных задач производилось с учетом установленных рекомендаций, допущений и ограничений:

- рациональный тяговый диапазон трактора с установленным энергетическим потенциалом ( $\xi_N^* \cdot N_{e3}$ ) и переменной эксплуатационной массой в технологиях почвообработки ограничен, с одной стороны, режимом допустимого буксования  $\delta_\partial$  при максимальном значении коэффициента использования веса  $\varphi_{KPmax} = \varphi_{KPH1}$  для выполнения первой, наиболее энергоемкой, группы операций на скорости  $V_{H1}^* = 2,20 м/с$  и режимом максимального тягового КПД  $\eta_{Tmax}$ , которому соответствует  $\varphi_{KPopr} = \varphi_{KPH3}$  для выполнения третьей, наименее энергоемкой, группы операций при  $V_{H3}^* = 3,33 м/с$ , с другой стороны, середина которого с  $\varphi_{KPH2} = \bar{\varphi}_{KP} = 0,5(\varphi_{KPmax} + \varphi_{KPopr})$  при скорости  $V_{H2}^* = 2,65 м/с$  служит для операций второй группы;

- рациональному тяговому диапазону ( $\varphi_{KPmax} \dots \varphi_{KPopr}$ ) соответствует интервал изменения удельной материалоемкости  $m_{y\partial}^* = \eta_{TH} / (\varphi_{KP} \cdot V)_H \cdot g \cdot 10^{-3}$  от максимальной  $m_{y\partial 1}^*$  до минимальной  $m_{y\partial 3}^*$ , соотношение которых  $\lambda m_{y\partial max}^* = m_{y\partial 1}^* / m_{y\partial 3}^*$  не должно превышать максимально допустимое увеличение минимальной транспортировочной массы брутто трактора  $m_{\partial 0}$  за счет балластирования [4]:

$$\lambda m_{y\partial max} \leq \lambda m_{0max} = (m_{0\partial} + m_{Bmax}) / m_{0\partial} \quad (1)$$

при  $m_{\partial 1}^* = m_{y\partial 1}^* \cdot \xi_N^* \cdot N_{e\partial} \leq (m_{0\partial} + m_{Bmax})$ .

У колесного трактора с минимальной транспортировочной массой брутто  $m_{\partial 0}$ , продольной базой  $L$  и абсциссой центра масс  $a_{y0}$  максимальная масса дополнительного балласта для первой группы операций  $m_{Bmax1} = (m_{\partial 1}^* - m_{0\partial})$ . Тогда при известном соотношении

$$m_{\partial 0} / \xi_N^* \cdot N_{e\partial} = m_{y\partial 0}^* = a \cdot m_{y\partial 1}^* \quad (2)$$

значения удельной массы (кг/кВт) полного балласта  $m_{y\partial Bi}$  для каждой группы операций при  $\lambda m_{y\partial max} \leq 1/a \leq \lambda m_{0max}$  выразятся как:

$$\begin{cases} m_{By\partial 1} = m_{y\partial 1}^* (1 - a); \\ m_{By\partial 2} = m_{y\partial 2}^* - a \cdot m_{y\partial 1}^*; \\ m_{By\partial 3} = m_{y\partial 3}^* - a \cdot m_{y\partial 1}^*. \end{cases} \quad (3)$$

Массы переднего  $m_{B1}^*$  и заднего  $m_{B2}^*$  балластов определяются решением уравнений моментов относительно осей передних и задних колес [3] при известных абсциссах  $a_y > a_{y0}$  и  $a_n \geq 0$  балластированного трактора:

$$\begin{cases} m_{B1}^* = (m_{\partial}^* \cdot a_y - m_{\partial 0} \cdot a_{y0}) / (L + a_n); \\ m_{B2}^* = [m_{\partial}^* (L + a_n - a_y) - m_{\partial 0} (L + a_n - a_{y0})] / (L + a_n). \end{cases} \quad (4)$$

Обозначив относительные величины абсцисс центра масс трактора и переднего балласта как  $A_y = a_y / L$ ,  $A_{y0} = a_{y0} / L$  и  $A_n = (L + a_n) / L$ , из уравнений системы (4) получим выражения для расчета массы переднего и заднего балластов:

$$\begin{cases} m_{B1}^* = (m_{\partial}^* \cdot A_y - m_{\partial 0} \cdot A_{y0}) / A_n; \\ m_{B2}^* = (m_{\partial}^* - m_{\partial 0}) - (m_{\partial}^* \cdot A_y - m_{\partial 0} \cdot A_{y0}) / A_n. \end{cases} \quad (5)$$

Алгоритм рационального балластирования колесного 4к4а трактора с установленным энергетическим потенциалом ( $\xi_N^* \cdot N_{e\partial}$ ) для основных групп родственных операций почвообработки при обоснованных значениях номинальной скорости рабочего хода  $V_H^*$ , включает: 1) определение  $m_{\partial 0}, L, a_{y0}, a_n$  по технической характеристике; 2) определение зависимостей  $\eta_T, \delta = f(\varphi_{KP})$  в интервале буксования движителей  $\delta = 0,05 - 0,20$  и изменения скорости  $V$  от 2,20 до 3,80 м/с; 3) установление  $\varphi_{KPmax} = \varphi_{KPH1}, \varphi_{KP} = \varphi_{KPH2}; \varphi_{KPopt} = \varphi_{KPH3}$  и соответствующих им значений тягового КПД  $\eta_T$ ; 4) расчет  $m_{y\partial}^* = \eta_{TH} / (\varphi_{KP} \cdot V)_H \cdot g \cdot 10^{-3}$  и  $m_{\partial}^* = m_{y\partial}^* \cdot (\xi_N^* \cdot N_{e\partial})$  для каждой группы операций; 5) расчет  $m_{y\partial 0} = m_{\partial 0} / (\xi_N^* \cdot N_{e\partial}) = a \cdot m_{y\partial 1}^*$ ; 6) определение удельной массы полного балласта для каждой групп операций по (3); 7) определение абсциссы центра масс трактора с балластом из условий  $a_y = m_n / m_{\partial} = Y_{пст} / G_{\partial}$  и  $A_y$  для каждой группы с учетом рекомендаций [3]; 8) расчет  $m_{B1}^*$  и  $m_{B2}^*$  по (5).

Использование в расчетах (5) удельной массы переднего  $m_{B1y\partial}^* = (m_{y\partial}^* \cdot A_y - m_{\partial 0} \cdot A_{y0}) / A_n$  и заднего  $m_{B2y\partial}^* = (m_{y\partial}^* - m_{y\partial 0} - m_{B1y\partial}^*)$  балластов для каждой группы операций почвообработки позволяет определить фактические значения массы указанных балластов на тракторах разных типоразмеров:

$$\begin{cases} m_{B1}^* = m_{B1y\delta}^* \cdot (\xi_N^* \cdot N_{e3}); \\ m_{B2}^* = m_{B2y\delta}^* \cdot (\xi_N^* \cdot N_{e3}). \end{cases} \quad (6)$$

Абсцисса центра масс  $A_{ц}$  для оптимальной нагруженности передних колес трактора в режиме рабочего хода  $\lambda_{ПП} = Y_{ПП} / G_{э} = 0,3 - 0,4$  [3] при тяговой нагрузке  $P_{КРН}$  определится как

$$A_{ц} = \lambda_{ПП} + \frac{[h_{КР} + \varphi_{КРН} + f(r_{\delta 1} + r_{\delta 2})0,5]}{L}, \quad (7)$$

где  $h_{КР}$  – ордината точки прицепа;  $f$  – коэффициент сопротивления качению;  $r_{\delta 1}, r_{\delta 2}$  – динамические радиусы качения передних и задних колес.

**Результаты исследований и их обсуждение.** По результатам моделирования [3] с использованием экспериментальных зависимостей  $\eta_T, \delta = f(\varphi_{КР})$  обоснованы оптимальные значения  $m_{y\delta}^*$  и  $m_{By\delta}^*$  при  $m_{y\delta 0max}^*$  тракторов 4к4а на одинарных и сдвоенных колесах для каждой установленной группы родственных операций почвообработки (табл.).

**Рациональное балластирование колесных 4к4а тракторов общего назначения на операциях почвообработки**

Группа операций	$V_H^*, м/с$	$\bar{A}_{ц}$	Одинарные колеса		Сдвоенные колеса		$(m_{By\delta II} - m_{By\delta I}), кг/кВт$
			$m_{y\delta}^*, кг/кВт$	$m_{By\delta}^*, кг/кВт$	$m_{y\delta}^*, кг/кВт$	$m_{By\delta}^*, кг/кВт$	
1	2,20	0,50	64,47	12,89	68,21	16,63	3,78
2	2,65	0,45	59,49	7,91	66,31	14,73	6,82
3	2,33	0,45	52,89	1,22	62,11	10,53	9,31

Оптимальные значения  $m_{y\delta}^*$  на одинарных колесах при  $\lambda m_{y\delta 0max} = 1,22$ ,  $m_{y\delta 0} = 51,58 кг/кВт$  и  $\lambda m_{0max} = 1,25$  достигаются изменением  $m_{By\delta}$  от 1,22 до 12,89 кг/кВт соответственно на третьей и первой группах операций, т.е. в 10,6 раза.

На сдвоенных колесах  $\lambda m_{y\delta 0max} = 1,10$  достигается изменением  $m_{By\delta}$  от 10,53 до 16,63 кг/кВт. С учетом удельной массы второго комплекта передних и задних колес, составляющей  $m_{кy\delta} = 3,5 - 4,0 кг/кВт$ , максимальная масса дополнительного балласта на операциях первой группы должна быть неизменной,  $m_{By\delta I} = idem$ . На операциях второй и третьей групп ее снижение составляет 13 и 58 %. Указанное подтверждает соответствующие увеличение разности массы балласта  $\Delta m_{By\delta} = (m_{By\delta II} - m_{By\delta I})$  на операциях указанных групп.

По результатам анализа конструктивных особенностей и условий балластирования отечественных [6] и зарубежных [7, 8] колесных 4к4а тракторов установлено, что интервалы изменения значений относительных абсцисс составляют:  $A_{ц} = 0,40 - 0,50$ ;  $A_{y0} = 0,35 - 0,40$ ;  $A_{II} = 1,0 - 1,6$ . Поэтому для определения рациональной степени балластирования тракторов по результатам натурного и вычислительного экспериментов разработана номограмма (рис.).

Построение номограммы проводилось графо-аналитическим методом в изложенной также последовательности.

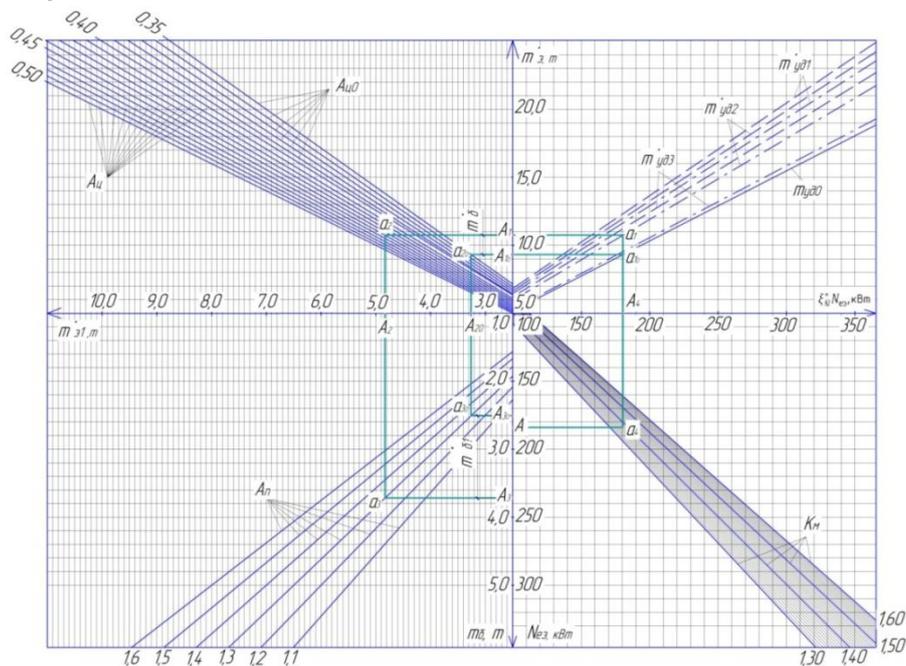
1. В IV квадранте построены зависимости  $(\xi_N^* \cdot N_{e3}) = f(N_{e3})$  при изменении коэффициента приспособленности двигателя по моменту  $K_M$  от 1,30 до 1,60.

2. В I квадранте расположены графики  $m_{\text{э}}^* = m_{\text{эд}}^* \cdot \xi_{\text{N}} \cdot N_{\text{э}}$  и  $m_{\text{э0}} = m_{\text{эд0}} \cdot \xi_{\text{N}} \cdot N_{\text{э}}$ . Значения  $m_{\text{эд}}^*$  и  $m_{\text{эд0}}$  взяты из таблицы и характеристик тракторов.

3. Во II квадранте построены зависимости приходящейся на передний мост массы трактора  $m_{\text{э1}}^* = m_{\text{э}}^* \cdot A_{\text{ч}}$  и  $m_{\text{э10}} = m_{\text{э0}} \cdot A_{\text{ч0}}$  эквивалентной реакции почвы  $y_{\text{нсм}} = m_{\text{э}} \cdot g \cdot a_{\text{ч}} / L$  и  $y_{\text{нсм0}} = m_{\text{э0}} \cdot g \cdot a_{\text{ч0}} / L$  с балластом  $m_{\text{Б}} = m_{\text{э}}^* - m_{\text{э0}}$  и без него.

4. В III квадранте приведены зависимости массы переднего балласта от абсциссы  $A_{\text{н}}$ , которая рассчитывается с учетом уравнения (4) как  $m_{\text{Б1}}^* = (m_{\text{э}}^* \cdot A_{\text{ч}} - m_{\text{э0}} \cdot A_{\text{ч0}}) / A_{\text{н}}$ . Масса заднего балласта при известном значении  $m_{\text{Б1}}^*$  определяется как  $m_{\text{Б2}}^* = m_{\text{э}}^* - m_0 - m_{\text{Б1}}^*$ .

Порядок пользования номограммой поясним на примере трактора Versatile 250 с одинарными колесами при выполнении операций второй группы. При известной мощности тракторного дизеля  $N_{\text{э}} = 184 \text{ кВт}$  (т. А) и  $K_{\text{м}} = 1,37$  (т.  $a_4$ ) определяют в IV квадранте  $(\xi_{\text{N}} \cdot N_{\text{э}}) = 180,55 \text{ кВт}$  (т.  $A_4$ ). Проведя через эту точку прямую, параллельную оси ординат до пересечения с линиями  $m_{\text{эд2}}^*$  (лк) и  $m_{\text{эд0}}$ , получают т.  $a_1$  и т.  $a_{10}$ . Пересечение прямых, параллельных оси абсцисс из указанных точек с ординатой (т.  $A_1$  и т.  $A_{10}$ ), определяют значения эксплуатационных масс  $m_{\text{э2}}^* = 10,74 \text{ т}$  и  $m_{\text{э0}} = 9,31 \text{ т}$  ( $m_{\text{Б}} = m_{\text{э}}^* - m_{\text{э0}} = 10,74 - 9,31 = 1,43 \text{ т}$ ) трактора. Продлив указанные прямые во II квадранте до пересечения с линиями  $A_{\text{ч}} = 0,45$  и  $A_{\text{ч0}} = 0,35$  соответственно т.  $a_2$  и т.  $a_{20}$  и проведя из этих точек параллельные оси ординат линии до пересечения с осью абсцисс, находят значения  $m_{\text{э1}}^* = m_{\text{э}}^* \cdot A_{\text{ч}} = 10,74 \cdot 0,45 = 4,83 \text{ т}$  (т.  $A_2$ ) и  $m_{\text{э10}} = m_{\text{э0}} \cdot A_{\text{ч0}} = 9,31 \cdot 0,35 = 3,26 \text{ т}$  (т.  $A_{20}$ ). Далее, продлив ординаты из указанных точек до пересечения в III квадранте с линией  $m_{\text{Б}} = f(A_{\text{н}})$  при заданной величине  $A_{\text{н}} = 1,3$  (т.  $a_3$  и т.  $a_{30}$ ) и проведя из этих точек параллельные оси абсцисс линии до пересечения с ординатой (т.  $A_3$  и т.  $A_{30}$ ), находят значения  $m_{\text{Б1}}^* = (A_3 - A_{30}) = (3,72 - 2,51) = 1,21 \text{ т}$  и  $m_{\text{Б2}}^* = m_{\text{Б}} - m_{\text{Б1}}^* = 1,43 - 1,21 = 0,22 \text{ т}$ .



Номограмма для определения массы балластных грузов при использовании колесных 4к4а тракторов:  
 — на одинарных колесах  
 - - - на двойных колесах

Аналогично определяют массу балластных грузов при оснащении трактора двойными колесами или изменении его мощности. Разработанную номограмму наиболее целесообразно использовать инженерно-

технической службой предприятия или официального дилера при балластировании тракторов для определенных групп операций основной обработки почвы. При подготовке тракторов разных производителей и типоразмеров к эксплуатации более универсальной является методика определения степени балластирования с использованием удельной массы полного, переднего и заднего балластов.

**Заключение.** Представлены модели и алгоритм рационального балластирования колесных 4к4 тракторов для эффективного использования в технологиях почвообработки. Обоснованы рациональные значения удельной массы общего, переднего и заднего балластов тракторов на одинарных и сдвоенных колесах для операций почвообработки разных групп. Разработана номограмма определения степени балластирования при использовании трактора в технологиях почвообработки.

### Литература

1. Селиванов Н.И. Регулирование эксплуатационных параметров тракторов // Вестн. КрасГАУ. – 2013. – № 7. – С. 234–239.
2. Селиванов Н.И., Запрудский, В.Н., Макеева Ю.Н. Моделирование скоростных режимов и удельных показателей колесных тракторов на основной обработке почвы // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 1. – С. 81–89.
3. Селиванов Н.И., Запрудский, В.Н., Макеева Ю.Н. Удельная материалоемкость колесных тракторов // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 2. – С. 56–63.
4. Селиванов Н.И. Эффективное использование энергонасыщенных тракторов. – Красноярск, 2008. – 228 с.
5. Селиванов Н.И. Эксплуатационные свойства сельскохозяйственных тракторов: учеб. пособие / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2010. – 347 с.
6. Руководство по эксплуатации тракторов John Deere [Электронный ресурс] // <http://mashintop.ru/manual.php?id=378>.
7. Руководство по эксплуатации тракторов Versatile модели 250, 280, 305 [Электронный ресурс] // <http://mashintop.ru/manual.php?id=378>.
8. Руководство по эксплуатации тракторов Terrior [Электронный ресурс] // <http://www.yugprom.ru/technics/tractors/terrior/terrior-atm-5280.php>.



УДК 631. 89 (631.3)

Н.И. Селиванов, А.А. Доржиев

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СМЕСЕВОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ РАПСОВОГО МАСЛА

*В статье представлена технология переработки семян рапса и получения смешанного топлива на основе рапсового масла, реализованная внутрихозяйственным способом. Обоснована технологическая линия производства и показана эффективность применения биотоплива в дизеле.*

**Ключевые слова:** биотопливо, дизель, рапсовое масло, смешанное топливо, технологическая линия.

N.I. Selivanov, A.A. Dorzheev

### THE PRODUCTION TECHNOLOGY AND THE USE EFFICIENCY OF THE MIXED FUEL BASED ON RAPESEED OIL

*The technology of the rapeseed processing and the production of the mixed fuel based on the rapeseed oil implemented by the in-house method is presented in the article. The technological production line is substantiated and the efficiency of the biofuel use in diesel is shown.*

**Key words:** biofuel, diesel, rapeseed oil, mixed fuel, technological line.

**Введение.** За последние десять лет стоимость дизельного топлива выросла в три раза, что стимулирует применение альтернативных топлив, наиболее реальными из которых являются биотоплива на основе растительных масел. При этом в сельском хозяйстве целесообразно использовать биотоплива, которые можно произвести внутрихозяйственным способом из собственного сырья. К ним относятся, прежде всего, топлива из рапсового масла.

Посевные площади рапса в России за последние пять лет (с 2010 по 2014 г.) выросли в два раза. В условиях Красноярского края урожайность семян составляет около 15 ц/га при себестоимости 12,3 руб/кг. При