

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 δ_∂ 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 η_{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 ($\varphi_{KPmax} \text{---} \varphi_{KPopr}$) 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 η_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 $A_{\text{ц}}$ для оптимальной нагруженности передних колес трактора в режиме рабочего хода $\lambda_{\text{ПР}} = Y_{\text{ПР}} / G_{\Sigma} = 0,3 - 0,4$ [3] при тяговой нагрузке $P_{\text{КРН}}$ определится как

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

где $h_{\text{КР}}$ – 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 $\eta_T, \delta = f(\varphi_{\text{КР}})$ обоснованы оптимальные значения $m_{y\delta}^*$ и $m_{By\delta}^*$ при $m_{y\delta 0 \text{max}}^*$ 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 | $V_H^*, \text{ м/с}$ | $\bar{A}_{\text{ц}}$ | Одинарные колеса | | Сдвоенные колеса | | $(m_{By\delta II} - m_{By\delta I}), \text{ кг/кВт}$ |
|-----------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|
| | | | $m_{y\delta}^*, \text{ кг/кВт}$ | $m_{By\delta}^*, \text{ кг/кВт}$ | $m_{y\delta}^*, \text{ кг/кВт}$ | $m_{By\delta}^*, \text{ кг/кВт}$ | |
| 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 $\lambda m_{y\delta 0 \text{max}} = 1,22$, $m_{y\delta 0} = 51,58 \text{ кг/кВт}$ и $\lambda m_{0 \text{max}} = 1,25$ 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 $\lambda m_{y\delta 0 \text{max}} = 1,10$ достигается изменением $m_{By\delta}$ от 10,53 до 16,63 кг/кВт. С учетом удельной массы второго комплекта передних и задних колес, составляющей $m_{K\delta} = 3,5 - 4,0 \text{ кг/кВт}$, 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: $A_{\text{ц}} = 0,40 - 0,50$; $A_{y0} = 0,35 - 0,40$; $A_{II} = 1,0 - 1,6$. 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.

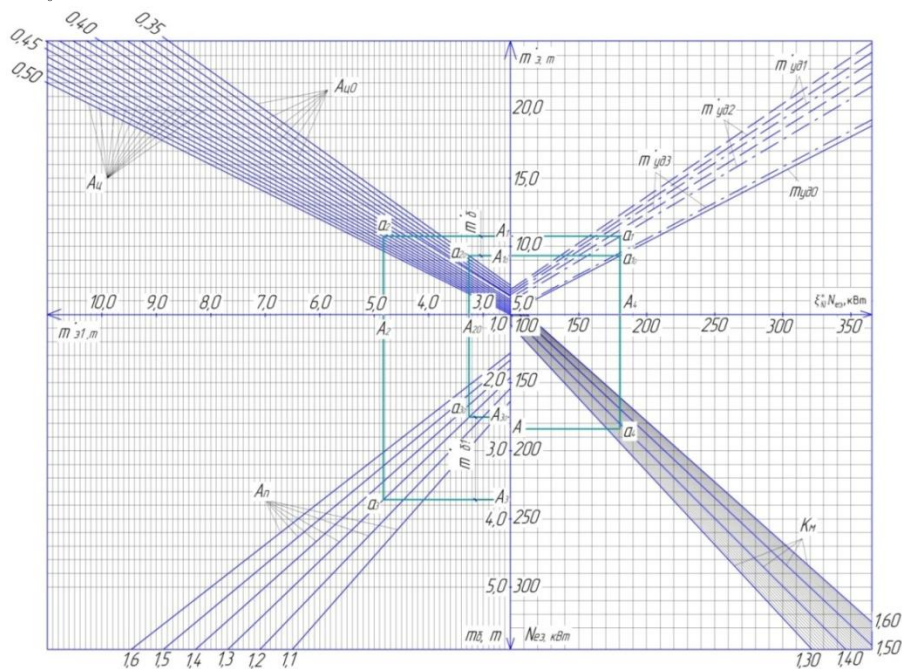
1. В IV квадранте построены зависимости $(\xi_N^* \cdot N_{e3}) = f(N_{e3})$ при изменении коэффициента приспособленности двигателя по моменту K_M от 1,30 до 1,60.

2. В I квадранте расположены графики $m_{y\partial}^* = m_{y\partial}^* \cdot \xi_{\bar{N}} \cdot N_{e3}$ и $m_{\partial 0} = m_{y\partial 0} \cdot \xi_{\bar{N}} \cdot N_{e3}$. Значения $m_{y\partial}^*$ и $m_{y\partial 0}$ взяты из таблицы и характеристик тракторов.

3. Во II квадранте построены зависимости приходящейся на передний мост массы трактора $m_{\partial 1}^* = m_{\partial}^* \cdot A_u$ и $m_{\partial 1 0} = m_{\partial 0} \cdot A_{u0}$ эквивалентной реакции почвы $y_{ncm} = m_{\partial} \cdot g \cdot a_u / L$ и $y_{ncm0} = m_{\partial 0} \cdot g \cdot a_{u0} / L$ с балластом $m_B = m_{\partial}^* - m_{\partial 0}$ и без него.

4. В III квадранте приведены зависимости массы переднего балласта от абсциссы A_n , которая рассчитывается с учетом уравнения (4) как $m_{B1}^* = (m_{\partial}^* \cdot A_u - m_{\partial 0} \cdot A_{u0}) / A_n$. Масса заднего балласта при известном значении m_{B1}^* определяется как $m_{B2}^* = m_{\partial}^* - m_0 - m_{B1}^*$.

Порядок пользования номограммой поясним на примере трактора Versatile 250 с одинарными колесами при выполнении операций второй группы. При известной мощности тракторного дизеля $N_{e3} = 184 \text{ кВт}$ (т. А) и $K_{\text{ш}} = 1,37$ (т. a_4) определяют в IV квадранте $(\xi_{\bar{N}} \cdot N_{e3}) = 180,55 \text{ кВт}$ (т. A_4). Проведя через эту точку прямую, параллельную оси ординат до пересечения с линиями $m_{y\partial 2}^*$ (лк) и $m_{y\partial 0}$, 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 $m_{\partial 2}^* = 10,74 \text{ т}$ и $m_{\partial 0} = 9,31 \text{ т}$ ($m_{2B} = m_{\partial}^* - m_{\partial 0} = 10,74 - 9,31 = 1,43 \text{ т}$) трактора. Продлив указанные прямые во II квадранте до пересечения с линиями $A_u = 0,45$ и $A_{u0} = 0,35$ соответственно т. a_2 и т. a_{20} и проведя из этих точек параллельные оси ординат линии до пересечения с осью абсцисс, находят значения $m_{\partial 1}^* = m_{\partial}^* \cdot A_u = 10,74 \cdot 0,45 = 4,83 \text{ т}$ (т. A_2) и $m_{\partial 1 0} = m_{\partial 0} \cdot A_{u0} = 9,31 \cdot 0,35 = 3,26 \text{ т}$ (т. A_{20}). Далее, продлив ординаты из указанных точек до пересечения в III квадранте с линией $m_B = f(A_n)$ при заданной величине $A_n = 1,3$ (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 $m_{B1}^* = (A_3 - A_{30}) = (3,72 - 2,51) = 1,21 \text{ т}$ и $m_{B2}^* = m_B^* - m_{B1}^* = 1,43 - 1,21 = 0,22 \text{ т}$.



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