



## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

### ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 629.114.2

Н.И. Селиванов, Ю.Н. Макеева

#### УДЕЛЬНАЯ МАТЕРИАЛОЕМКОСТЬ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ ПРИ БАЛЛАСТИРОВАНИИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЧВООБРАБОТКИ

*Сформулированы модели, разработаны алгоритм и номограмма рационального балластирования колесных 4к4а тракторов для технологий почвообработки с использованием удельных параметров.*

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

N.I. Selivanov, Yu.N. Makeeva

#### SPECIFIC MATERIAL CAPACITY OF WHEEL TRACTORS WHEN BALLASTING FOR THE TILLAGE TECHNOLOGIES

*Models are formulated; the algorithm and the nomogram of the rational ballasting of the wheel 4k4a tractors are developed for tillage technologies with the specific parameters use.*

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

**Введение.** Основу современного тракторного рынка составляют унифицированные мобильные энергетические средства колесной формулы 4к4а разных типоразмеров с изменяющимися в широком диапазоне массоэнергетическими параметрами. Особенностью адаптации таких тракторов к зональным технологиям почвообработки является ступенчатое изменение эксплуатационной массы путем балластирования, установки сдвоенных колес и применения догружающих устройств [1].

Для установленных групп операций основной обработки почвы в работах [2, 3] обоснованы оптимальные значения показателя технологичности – удельной материалоемкости  $m_{уд}^*$  колесных тракторов разной комплектации. Однако в практике эксплуатации обеспечение  $m_{уд}^*$  современных колесных тракторов для разных операций почвообработки путем балластирования не всегда производится из-за высокой трудоемкости установки и снятия балластных грузов и отсутствия соответствующих рекомендаций.

В работе [4] обоснованы условия балластирования колесных 4к4а тракторов с установленным энергетическим потенциалом для адаптации к современным технологиям почвообработки. Сформулированы модели, разработаны алгоритм рационального балластирования и номограмма определения параметров дополнительного балласта. Разработанную номограмму целесообразно использовать инженерно-технической службой предприятия или официальным дилером при балластировании тракторов для определенной группы 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. Поэтому разработка рекомендаций по рациональному балластированию колесных тракторов для адаптации к технологиям почвообработки является актуальной и практически значимой.

**Цель работы.** Обоснование удельной материалоемкости и степени балластирования колесных 4к4а тракторов для оптимальной адаптации к технологиям почвообработки.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

1) сформировать модели и разработать алгоритм оптимизации удельной материалоемкости трактора за счет изменения степени балластирования;

2) обосновать удельные массоэнергетические параметры трактора и дополнительного балласта для адаптации к технологиям почвообработки;

3) разработать номограмму определения удельной массы элементов дополнительного балласта при использовании тракторов в технологиях основной обработки почвы.

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

- рациональный тяговый диапазон трактора ограничен, с одной стороны, режимом допустимого буксования  $\delta_d$  при максимальном значении коэффициента использования веса  $\varphi_{KPMax} = \varphi_{KPH1}$  для выполнения первой, наиболее энергоемкой группы операций (отвальная вспашка и глубокое рыхление) на скорости  $V_{H1}^* = 2,20 \frac{M}{C}$ , с другой стороны, режимом максимального тягового КПД  $\eta_{Tmax}$ , которому соответствует  $\varphi_{KPOpt} = \varphi_{KP3}$  для выполнения третьей, наименее энергоемкой группы операций (поверхностная обработка почвы и прямой посев) при  $V_{H3}^* = 3,33 \text{ м/с}$ , середина которого с  $\varphi_{KPH2} = \bar{\varphi}_{KP} = 0,5 \cdot (\varphi_{KPMax} + \varphi_{KPOpt})$  при скорости  $V_{H2}^* = 2,65 \text{ м/с}$  служит для операций второй группы (безотвальная комбинированная обработка и чизелевание);

- рациональному тяговому диапазону  $(\varphi_{KPMax} - \varphi_{KPOpt})$  соответствует интервал изменения удельной материалоемкости от максимальной  $m_{y\partial 1}^*$  до минимальной  $m_{y\partial 3}^*$ , соотношение которых не должно превышать максимально допустимое увеличение минимальной удельной транспортировочной массы брутто трактора  $m_{y\partial 0}$  за счет балластирования  $m_{By\partial}^0$  [5]

$$\lambda m_{y\partial max} = m_{y\partial 1}^* / m_{y\partial 3}^* \leq \lambda m_{y\partial don} = (m_{y\partial 0} + m_{By\partial}^0) / m_{y\partial 0}. \quad (1)$$

У колесного трактора, с минимальной транспортировочной массой брутто  $m_{y\partial 0}$ , продольной базой  $L$  и абсциссой центра масс  $a_{u0}$ , максимальная удельная масса дополнительного балласта для первой группы операций  $m_{Bmax} = (m_{y\partial 1}^* - m_{y\partial 0})$ . Тогда, при известном соотношении  $m_{y\partial 0} = a \cdot m_{y\partial 1}^*$ , оптимальные значения удельной массы ( $кг/кВм$ ) общего балласта  $m_{By\partial}$  для каждой группы операций выразятся как

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

Удельные массы переднего  $m_{B1y\partial}^*$  и заднего  $m_{B2y\partial}^*$  балластов определяются решением уравнений моментов относительно осей передних и задних колес [3] при известных абсциссах центра масс трактора  $a_u > a_{u0}$  и переднего балласта  $a_n \geq 0$

$$\begin{cases} m_{B1y\partial}^* = (m_{y\partial}^* \cdot a_u - m_{y\partial 0} \cdot a_{u0}) / (L + a_n); \\ m_{B2y\partial}^* = [m_{y\partial}^* \cdot (L + a_n - a_u) - m_{y\partial 0} \cdot (L + a_n - a_{u0})] / (L + a_n). \end{cases} \quad (3)$$

Обозначив относительные величины абсцисс центра масс трактора и переднего балласта как  $A_u = a_u / L$ ,  $A_{u0} = a_{u0} / L$  и  $A_n = (L + a_n) / L$  из уравнений системы (3), получим выражения для расчета оптимальных значений удельной массы переднего и заднего балластов

$$\begin{cases} m_{Б1y\partial}^* = (m_{y\partial}^* \cdot A_{\text{ц}} - m_{y\partial 0} \cdot A_{\text{ц}0}) / A_n; \\ m_{Б2y\partial}^* = (m_{y\partial}^* - m_{y\partial 0}) - (m_{y\partial}^* \cdot A_{\text{ц}} - m_{y\partial 0} \cdot A_{\text{ц}0}) / A_n. \end{cases} \quad (4)$$

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

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

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

Оптимальные значения полной массы указанных балластов для каждой группы операций почвообработки на тракторах разных типоразмеров при известном или заданном энергетическом потенциале выразятся как

$$\begin{cases} m_{Б1}^* = m_{Б1y\partial}^* \cdot (\xi_N^* \cdot N_{\text{ЕЭ}}); \\ m_{Б2}^* = m_{Б2y\partial}^* \cdot (\xi_N^* \cdot N_{\text{ЕЭ}}). \end{cases} \quad (6)$$

Алгоритм рационального балластирования колесного 4к4а трактора с установленным или заданным энергетическим потенциалом ( $\xi_N^* \cdot N_{\text{ЕЭ}}$ ) для основных групп родственных операций почвообработки, при обоснованных значениях номинальной скорости рабочего хода  $V_H^*$ , включает: 1) определение  $m_{y\partial 0}$ ,  $L$ ,  $a_{\text{ц}0}$ ,  $a_n$  по технической характеристике; 2) определение зависимостей  $\eta_T$ ,  $\delta = f(\varphi_{\text{КР}})$  в интервале буксования движителей  $\delta = 0,05 - 0,20$  и изменения скорости  $V$  от 2,20 до 3,80 м/с; 3) установление  $\varphi_{\text{КР max}} = \varphi_{\text{КР H1}}$ ,  $\bar{\varphi}_{\text{КР}} = \varphi_{\text{КР H2}}$ ,  $\varphi_{\text{КР opt}} = \varphi_{\text{КР H3}}$  и соответствующих им значений тягового КПД  $\eta_T$ ; 4) расчет удельной материалоемкости  $m_{y\partial}^* = \eta_{\text{ТН}} / (\varphi_{\text{КР}} \cdot V)_H \cdot g \cdot 10^{-3}$  и эксплуатационной массы трактора  $m_{\text{Э}}^* = m_{y\partial}^* \cdot (\xi_N^* \cdot N_{\text{ЕЭ}})$  для каждой группы операций; 5) проверка условия (1) при  $m_{y\partial 0} = a \cdot m_{y\partial 1}^*$ ; 6) определение удельной массы полного балласта  $m_{Бy\partial}$  для каждой группы операций по (2); 7) определение абсциссы центра масс трактора с балластом из условий  $a_{\text{ц}} = m_n / m_{\text{Э}} = Y_{\text{н см}} / G_{\text{Э}}$  и  $A_{\text{ц}}$  для каждой группы с учетом выражения (5) и рекомендаций [3]; 8) расчет удельной массы  $m_{Б1y\partial}^*$  и  $m_{Б2y\partial}^*$  по (4); 9) определение полной массы балластов  $m_{Б1}^*$  и  $m_{Б2}^*$  по (6).

**Результаты исследования.** Использование экспериментальных зависимостей  $\eta_T, \delta = f(\varphi_{\text{КР}})$  [3] позволило обосновать оптимальные значения  $m_{y\partial}^*$  тракторов 4к4а на одинарных и сдвоенных колесах для установленных групп родственных операций почвообработки (табл. 1).

Таблица 1

**Оптимальные значения  $m_{y\partial}^*$  колесных 4к4а тракторов для операций  
основной обработки почвы [6]**

Группа операций	$V_H, \text{м/с}$ (км/ч)	Одинарные колеса			Сдвоенные колеса		
		$\varphi_{\text{КРН}}^* / \delta$	$\eta_{\text{ТН}}$	$m_{\text{уд}}^*, \text{кг/кВт}$ (кг/л.с.)	$\varphi_{\text{КРН}}^* / \delta$	$\eta_{\text{ТН}}$	$m_{\text{уд}}^*, \text{кг/кВт}$ (кг/л.с.)
1	2,20 (8,0)	$\frac{0,45}{0,15}$	0,625	64,47 (47,40)	$\frac{0,47}{0,124}$	0,692	68,21 (50,15)
2	2,65 (9,5)	$\frac{0,41}{0,124}$	0,634	59,49 (43,74)	$\frac{0,41}{0,10}$	0,707	66,31 (48,76)
3	3,33 (12,0)	$\frac{0,37}{0,10}$	0,638	52,80 (38,82)	$\frac{0,35}{0,07}$	0,710	62,11 (45,67)

Рациональным тяговым диапазоном использования трактора на операциях почвообработки разных групп с одинарными ( $\varphi_{КРН1} - \varphi_{КРН3}$ ) = (0,45–0,37) и сдвоенными (0,47–0,35) колесами соответствуют  $\lambda m_{удmax} = 1,221$  и 1,098, что согласуется с условием (1) при  $\lambda m_{эmax} \leq 1,25$ .

Оптимальные значения  $m_{уд}^*$  трактора с одинарными колесами при  $m_{уд0} = 51,58$  кг/кВт достигаются изменением удельной массы общего балласта от минимальной  $m_{Б3уд}^* = 1,22$  кг/кВт до максимальной  $m_{Б1уд}^* = 12,89$  кг/кВт, что составляет  $(0,024 - 0,250) \cdot m_{уд0}^*$  (табл. 2).

При комплектации трактора сдвоенными колесами  $m_{уд}^*$  обеспечивается дополнительная удельная масса  $\Sigma m_{Буд}^*$ , включающая удельные массы второго комплекта задних и передних колес  $m_{Куд}$  и балластных грузов  $m_{Буд}^*$ , от  $\Sigma m_{Б3уд}^* = 10,53$  кг/кВт до  $\Sigma m_{Б1уд}^* = 16,63$  кг/кВт. При  $m_{Куд} = 4,0 - 4,5$  кг/кВт общая удельная масса балластных грузов для первой группы операций на сдвоенных колесах  $m_{Б1уд}^* = 12,53$  кг/кВт остается практически неизменной. На операциях 2-й и 3-й групп она повышается до 10,73 и 6,53 кг/кВт соответственно (табл. 2).

Таблица 2

**Удельные параметры балластных грузов колесных 4к4а тракторов для технологий почвообработки [6]**

Группа операций	Одинарные колеса			Сдвоенные колеса			
	$\varphi_{КРН}$	$m_{Буд}^*$ , кг/кВт	$m_{Буд}/m_{уд0}$	$\varphi_{КРН}$	$\Sigma m_{Буд}^*$ , кг/кВт	$m_{Буд}$ , кг/кВт	$m_{Буд}/m_{уд0}$
1	0,45	12,89	0,250	0,47	16,63	12,63	0,245
2	0,41	7,91	0,153	0,41	14,73	10,73	0,208
3	0,37	1,22	0,024	0,35	10,53	6,53	0,127

При использовании в качестве основного тягового режима для всех групп родственных операций  $\varphi_{КРН}^* = 0,5 \cdot (\varphi_{КРmax} + \varphi_{КРopt})$  величина  $\lambda m_{удmax}$  достигает 1,388 на одинарных и 1,450 на сдвоенных колесах, что недопустимо по условиям балластирования [5]. Это требует компромиссного варианта балластирования для операций первой группы, в основе которого целесообразно использовать тяговый режим при  $\varphi_{КРН1}^* = 0,45$  и предлагаемые условия балластирования для его достижения.

По результатам анализа конструктивных особенностей и условий балластирования отечественных [7] и зарубежных [8, 9] колесных 4к4а тракторов установлены интервалы изменения значений относительных абсцисс:  $A_{ц} = 0,40 - 0,50$ ;  $A_{ц0} = 0,35 - 0,40$ ;  $A_{п} = 1,0 - 1,6$ . Для определения рациональной степени балластирования тракторов с использованием удельных параметров, по результатам натурного и вычислительного экспериментов, разработана номограмма (рис.). Построение номограммы проводилось графо-аналитическим методом в изложенной ниже последовательности.

1. В IV квадранте построены зависимости  $\eta_T, \delta = f(\varphi_{КР})$  в рациональном тяговом диапазоне использования трактора 4к4а на одинарных и сдвоенных колесах.

2. В I квадранте расположены графики  $m_{уд}^* = \eta_{ТН}/(\varphi_{КР} \cdot V)_H \cdot g \cdot 10^{-3}$  при установленных значениях  $V_H^*$  и  $\varphi_{КРН}^*$  (см. табл. 1) для разных технологий почвообработки.

3. Во II квадранте построены зависимости приходящейся на передний мост удельной массы трактора  $m_{уд1}^* = m_{уд}^* \cdot A_{ц}$  и  $m_{уд10}^* = m_{уд0}^* \cdot A_{ц0}$  с балластом  $m_{Буд} = m_{уд}^* - m_{уд0}^*$  и без него.

4. В III квадранте приведены зависимости удельной массы переднего балласта от абсциссы  $A_{п}$ , которая рассчитывается с учетом уравнения (4) как  $m_{Б1уд}^* = (m_{уд}^* \cdot A_{ц} - m_{уд0}^* \cdot A_{ц0})/A_{п}$ . Масса заднего балласта при известном значении  $m_{Б1уд}^*$  определяется как  $m_{Б2уд}^* = m_{уд}^* - m_{уд0}^* - m_{Б1уд}^*$ .

Порядок пользования номограммой поясним на примере трактора Versatile 250 с одинарными колесами при выполнении операций второй группы.

При выполнении операций второй группы целесообразно использовать тяговый режим при



### Литература

1. Селиванов Н.И. Регулирование эксплуатационных параметров тракторов // Вестник 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 // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 1. – С. 81–89.
3. Селиванов Н.И., Запрудский В.Н., Макеева Ю.Н. Удельная материалоемкость колесных тракторов // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 2. – С. 56–63.
4. Селиванов Н.И., Макеева Ю.Н. Балластирование колесных тракторов на обработке почвы // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 5. – С. 77–81.
5. Селиванов Н.И. Эффективное использование энергонасыщенных тракторов. – Красноярск, 2008. – 228 с.
6. Селиванов Н.И., Макеева Ю.Н. Адаптация колесных тракторов к технологиям почвообработки // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/121-19086> (дата обращения: 15.05.2015).
7. Руководство по эксплуатации тракторов Terrior. – URL: <http://www.yugprom.ru/technics/tractors/terrior/terrior-atm-5280.php> (дата обращения: 25.02.2015).
8. Руководство по эксплуатации тракторов John Deere. – URL: <http://mashintop.ru/manual.php?id=378> (дата обращения: 05.02.2015).
9. Руководство по эксплуатации тракторов «Versatil» серии Row Crop (250, 280, 305 л.с.). – URL: <http://mashintop.ru/manual.php?id=378> (дата обращения: 05.02.2015).



УДК 621.311.1

И.В. Наумов, И.В. Ямщикова

#### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СЕТЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ РОССИИ И ГЕРМАНИИ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОМ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИИ

*В статье изложены результаты экспериментальных исследований несимметричных режимов работы электрических сетей напряжением 0,38 кВ в России и Германии, а также представлено техническое средство, повышающее эффективность режимов работы этих сетей.*

**Ключевые слова:** несимметрия, качество, потери, эффективность функционирования, симметрирующее устройство.

I.V. Naumov, I.V. Yamshchikova

#### THE INCREASE OF THE OPERATING MODE EFFICIENCY OF THE LOW VOLTAGE NETWORKS IN RUSSIA AND GERMANY IN THE ASYMMETRICAL POWER CONSUMPTION

*The pilot research results of the asymmetrical operating modes of 0,38 kV electric networks in Russia and Germany are stated, the technical tool increasing the efficiency of these networks operating modes is presented in the article.*

**Key words:** asymmetry, quality, losses, efficiency of functioning, symmetrizing device.

---

**Введение.** В настоящее время во всем мире уделяется повышенное внимание вопросам энергосбережения и эффективного использования электрической энергии. В связи с этим разработ-