

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 631.3-83

Н.И. Селиванов

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ ТРАКТОРОВ

N.I. Selivanov

CLASSIFICATION IMPROVEMENT AND USE OF POWER SATURATED TRACTORS

Н.И. Селиванов – д-р техн. наук, проф., зав. каф. тракторов и автомобилей Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: info@kgau.ru

N.I. Selivanov – Dr. Tech. Sci., Prof., Head, Chair of Tractors and Cars, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: info@kgau.ru

Рассмотрены вопросы совершенствования классификации и повышения эффективности использования энергонасыщенных колесных тракторов в технологиях почвообработки. Показана необходимость при комплектовании почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения, в каждом тяговом классе иметь несколько типоразмеров эксплуатационной мощности тракторов. При этом типоразмерный ряд сельскохозяйственных тракторов становится двухпараметрическим с использованием в качестве классификационных параметров номинального тягового усилия и мощности двигателя, развиваемой в режиме рабочего хода. Обоснована целесообразность использования в качестве основного показателя технологичности трактора удельной материалоемкости, устанавливающей взаимосвязь массоэнергетических параметров при изменении тягового режима и номинальной скорости рабочего хода. Определены ее оптимальные значения для номинальных тягово-скоростных режимов работы трактора на операциях почвообработки разных групп. Предложен двухпараметрический типоразмерный ряд тракторов (кроме мало-

габаритных), представляющий растущую последовательность взаимосвязанных классификационных параметров и состоящий из девяти тягово-мощностных классов. При этом каждый класс с установленными границами номинального тягового усилия включает от двух до трех мощностных разрядов, которые одновременно входят в предшествующий и последующий классы за счет изменения степени балластирования трактора. Установлено соответствие представленной двухпараметрической классификации колесных тракторов международной классификации по категориям мощности. Введено в систему классификации энергонасыщенных сельскохозяйственных тракторов понятие «номинальное тяговое усилие с полным балластом» при обоснованном ограничении диапазона тяговых усилий двумя номинальными значениями – верхним (с балластом) и нижним (без балласта) для рационального использования на операциях почвообработки разных по агротребованиям и энергоемкости групп.

Ключевые слова: классификация, показатель технологичности, тягово-мощностной класс, типоразмерный ряд, балластирование.

The questions of classification improvement and increasing the efficiency of power saturated wheel tractors using in technologies of tillage are considered. The necessity of tillage in the acquisition of units of various technological purposes, each traction class sizes have several operating power tractors is shown. This standard series of agricultural tractor becomes a two-parameter using as classification parameters rated driving force and the engine power developed in the stroke mode. The expediency of use as the main indicator of technological tractor specific material that relates mass and energetic parameters when changing the traction mode and the rated speed of the working is substantiated. Optimum values for nominal traction and high-speed operating modes of using a tractor in operations of tillage of different groups are defined. A two-parametrical number of tractors (except small-sized) representing the growing sequence of the interconnected classification parameters and consisting of nine traction and power classes is offered. Thus each class with the established borders of nominal traction force includes from two to three power categories which at the same time enter the previous and subsequent classes due to change of extent of ballasting of a tractor. Compliance to the presented two-parametrical classification of wheel tractors of the international classification by categories of power is established. The concept "nominal traction force with a full ballast" at reasonable restriction of range of traction efforts with two nominal rates is entered into the system of classification of power saturated agricultural tractors – top (with a ballast) and lower (without ballast) for rational use on operations of tillage different in agricultural requirements and power consumption of groups.

Keywords: classification, indicator of technological effectiveness, traction and power class, two-parameter row, ballasting.

Введение. В технической печати последних лет широко обсуждаются вопросы совершенствования классификации и использования энергонасыщенных сельскохозяйственных тракторов [1–3]. Это вызвано существенным расширением диапазона агротехнических скоростей агрегатов для ресурсосберегающих технологий почвообработки как наиболее энергоемкой операции.

Эффективное использование энергонасыщенного трактора с установленной эксплуата-

ционной мощностью двигателя N_{e3} и механической ступенчатой трансмиссией в широком диапазоне рабочих скоростей на разных операциях почвообработки достигается регулированием эксплуатационной массы, изменением степени балластирования. На операциях малой энергоемкости трактор используется в интервале высоких рабочих скоростей с базовой массой, соответствующей транспортировочной массе $m_{эБ} \geq m_{э0}$. Для выполнения наиболее энергоемких операций в интервале низких скоростей масса трактора увеличивается до максимальной установкой полного балласта. При этом трактор, в зависимости от производственных условий, используется как минимум в двух смежных тяговых классах с разными интервалами рабочих скоростей.

Таким образом, при комплектовании почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения в каждом тяговом классе целесообразно иметь не менее двух типоразмеров тракторов с разным уровнем эксплуатационной мощности. Типоразмерный ряд сельскохозяйственных тракторов, изначально построенный как однопараметрический по тяговому усилию на крюке, становится при этом двухпараметрическим [2] с использованием в качестве классификационных параметров номинального тягового усилия и мощности двигателя $N_{ep} = (N_{e3} \cdot \xi_{Ne})$, развиваемой в номинальном скоростном режиме рабочего хода. Эта классификация полностью характеризует номинальный тягово-скоростной режим работы энергонасыщенного трактора.

Цель работы. Обоснование типоразмерного ряда двухпараметрической классификации энергонасыщенных колесных 4к4 тракторов для рационального использования в технологиях почвообработки.

Достижение поставленной цели предусматривает решение следующих задач:

- 1) определить оптимальные значения показателей технологичности тракторов для разных групп родственных операций основной обработки почвы;
- 2) обосновать диапазоны изменения классификационных параметров тракторов в установленных тягово-мощностных классах типоразмерного ряда.

Условия и методы исследования. Современные, адаптированные к зональным условиям, цельнозамкнутые технологии обработки почвы и посева (традиционная, минимальная и нулевая) формируют три группы родственных по энергоемкости и техническому обеспечению операций с разными по агротребованиям и энергозатратам интервалами номинальной рабочей скорости $V_{Hi} \pm \Delta V_i$ [4–5]. Рациональный тяговый диапазон трактора ограничен режимом допустимого буксования δ_δ при $\varphi_{KРmax}$ – с одной стороны и режимом η_{Tmax} при $\varphi_{KРopt}$ – с другой стороны, с номинальным значением коэффициента использования веса $\varphi_{KРopt} \leq \varphi_{KPH} \leq \varphi_{KРmax}$.

В основу технологической адаптации энергонасыщенных колесных тракторов, как основных типов современных мобильных энергетических средств с установленными параметрами двигателя, трансмиссии и ходовой системы, положено изменение эксплуатационной массы m_ε (кг), в основном за счет съемных балластных грузов [6]. В качестве основного показателя технологичности трактора, по ГОСТ 4.40.-84 [7], целесообразно использовать удельную материалоемкость $m_{y\delta}$ (кг/кВт) – величину, обратную энергонасыщенности ε_H в номинальном тягово-скоростном режиме, устанавливающую взаимосвязь массоэнергетических параметров при изменении номинальной скорости рабочего хода и тягового режима

$$\begin{cases} m_{y\delta} = \eta_{Tmax} / g \cdot \varphi_{KPH} \cdot V_H \cdot 10^{-3}, \\ m_\varepsilon = m_{y\delta} \cdot \xi_N \cdot N_{e\varepsilon}. \end{cases} \quad (1)$$

Дополнительный показатель $N_{y\delta}$, определяющий соотношение классификационных параметров при изменении номинальной скорости, имеет вид

$$N_{y\delta} = \xi_N N_{e\varepsilon} / P_{KPH} = V_H / \eta_{Tmax}. \quad (2)$$

Зависимость коэффициента использования эксплуатационной мощности двигателя в условиях вероятностного характера тяговой нагрузки ξ_N от его динамических свойств

$K_M = M_{max} / M_H$ и коэффициента вариации момента сопротивления V_{MC} на валу определится из выражения [4]

$$\xi_N = -0,964 + 1,80K_M - 0,40K_M^2 + 0,023/V_{MC}, \quad (3)$$

Интервалы регулирования $m_{y\delta}$ и m_ε по отношению к базовым $m_{y\delta B}$ и $m_{\varepsilon B}$ при изменении тягово-скоростных режимов использования энергонасыщенного трактора с $N_{e\varepsilon} = idem$ выразятся как

$$\begin{cases} \lambda m_{y\delta} = \frac{m_{y\delta i}}{m_{y\delta B}} = \lambda \eta_{TH} / \lambda \varphi_{KPH} \cdot \lambda V_H; \\ \lambda m_\varepsilon = \frac{m_{\varepsilon i}}{m_{\varepsilon B}} = \lambda \xi_N \cdot \lambda \eta_{TH} / \lambda \varphi_{KPH} \cdot \lambda V_H. \end{cases} \quad (4)$$

На малоэнергоемких операциях почвообработки 3-й группы энергонасыщенный трактор используется в интервале $(V_H \pm \Delta V)_3 \rightarrow max$ на высшей передаче рабочего режима без балласта или с его минимальной величиной (базовый вариант) при $m_{\varepsilon 3} = m_{\varepsilon B} \geq m_{\varepsilon 0}$ в диапазоне $(\varphi_{KРopt} - \varphi_{KPH})$, соответствующем η_{Tmax} . На операциях 2-й группы при $V_{H2} < V_{H3}$ необходимо увеличить $m_{y\delta B}$ за счет частичного балластирования до $m_{y\delta 2} = m_{y\delta B} \cdot \lambda m_{y\delta 2}$ для получения $m_{\varepsilon 2} = \lambda \xi_N \cdot \lambda m_{y\delta 2} \cdot m_{\varepsilon B}$ в тяговом режиме $\varphi_{KPH} = 0,5(\varphi_{KРmax} + \varphi_{KРopt})$, соответствующем $(0,995-1,00) \eta_{Tmax}$. Для наиболее энергоемких операций 1-й группы при $V_{H1} < V_{H2} < V_{H3}$ номинальный тяговый режим на низшей передаче основного режима в диапазоне $(\varphi_{KPH} - \varphi_{KРmax})$ обеспечивается за счет установки полного балласта при ограничении его массы до $m_{Bmax} \leq (0,25 - 0,30)m_{\varepsilon 0}$ [4]. По массоэнергетическим параметрам на операциях 2-й и 1-й групп трактор может перейти в смежный повышенный тяговый класс, поскольку должно выполняться условие

$$\lambda P_{KPHi} = P_{KPHi} / P_{KPHB} = \lambda m_{y\delta i} \cdot \lambda \varphi_{KPHi} = \lambda \eta_{TH} / \lambda V_{Hi}. \quad (5)$$

Двухпараметрическая классификация требует изменения редакции ГОСТ 27021-86 [9], поскольку предусматривает разделение всего типоразмерного ряда на тягово-мощностные классы, дополнив традиционные тяговые классы мощностной составляющей [2, 8]. Она дополняет существующую отечественную классификацию по номинальному тяговому усилию на крюке [9] и международную по мощности на BOM N_{BOM} при номинальной частоте вращения вала двигателя [10], поскольку

$$[\xi_N N_{ep} = N_{BOM} / \eta_{BOM}] \cdot \eta_{Tmax} / V_H = P_{KPH}. \quad (6)$$

Соотношение классификационных параметров тракторов в каждом тягово-мощностном классе при изменении P_{KPH} и V_H выразится как

$$\lambda N_{ep} = \lambda p_{KPH} \cdot \lambda V_H / \lambda \eta_T. \quad (7)$$

Результаты исследования. По ГОСТ 27021-86 [9], для колесных полноприводных тракторов на стерне $\varphi_{KPH} = 0,392$. С учетом результатов экспериментальных исследований [4, 5] и моделирования тягово-скоростных режимов использования колесных тракторов разных конфигураций и типоразмеров получено $\varphi_{KPH} = 0,37 - 0,41$ при $\eta_{Tmax} = 0,625 - 0,650$ и $\varphi_{KPHmax} = 0,45$. В таблице 1 приведены средние значения этих величин и показателей технологичности тракторов для основных групп родственных операций почвообработки. При установленных значениях номинальной скорости [5] и $\varphi_{KPH} = 0,41$ для всех групп операций соблюдается равенство

$$\lambda V_{Hi} = \frac{V_{Hi}}{V_{Hmin}} = \lambda N_{yoi} = \lambda p_{KPHi}^{-1} = \lambda m_{\Xi}^{-1}. \quad (8)$$

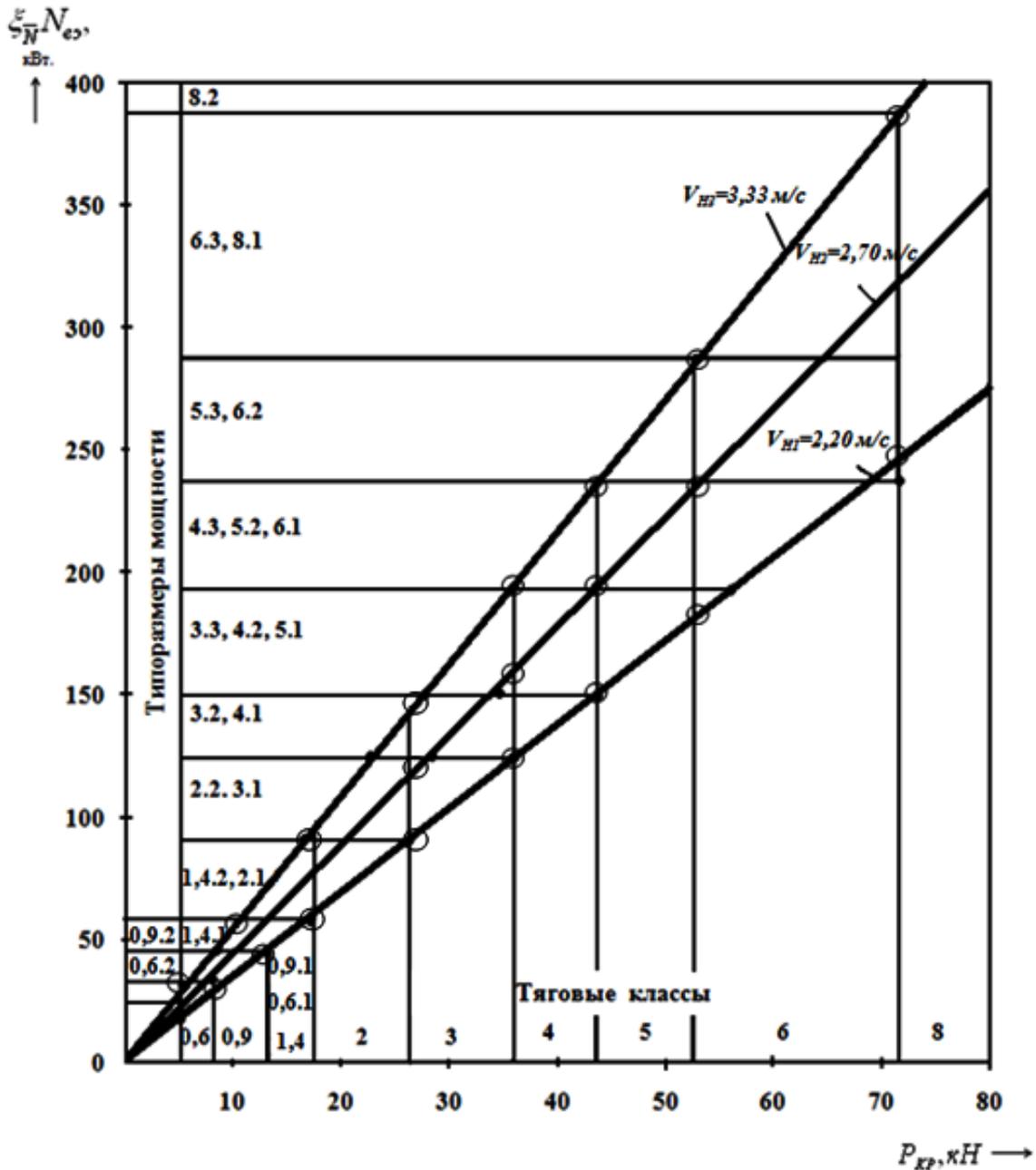
Таблица 1

Номинальные тягово-скоростные режимы и показатели технологичности колесных тракторов для основных групп родственных операций почвообработки

Группа операций	V_H , м/с (км/ч)	φ_{KPH} (φ_{KPHmax})	η_{TH}	Ξ_H , кВт/ч	m_{yoi} , кг/кВт	N_{yoi} , м/с	λp_{KPH}	λm_{Ξ}
1	2,20±0,20 (7,90±0,70)	0,41 (0,45)	0,634 (0,625)	13,96 (15,54)	71,64 (64,35)	3,47 (3,52)	1,51	1,36-1,51 (1,23-1,36)
2	2,70±0,30 (9,70±1,10)	0,41	0,634	17,13	58,38	4,26	1,23	1,11-1,23
3	3,33±0,33 (12,0±1,20)	0,37-0,41	0,638- 0,634	21,13- 18,95	47,33- 52,78	5,23	1,0	1,0

Использование трактора на операциях 1-й группы в тяговом режиме $\varphi_{KPH} = \varphi_{KPHmax}$ обеспечивает снижение m_{yoi} и соответственно m_{Ξ} на 11 %. И наоборот, уменьшение φ_{KPH} до $\varphi_{KPH3} = 0,37$ при $\eta_{Tmax} = 0,638$ на операциях 3-й группы повышает указанные параметры на такую же величину. Это позволяет получить $\lambda p_{KPHmax} = P_{KPH1} / P_{KPH3} = 1,51$ при $\lambda m_{\Ximax} = m_{\Xi1} / m_{\Xi3} = 1,23$ и в два раза уменьшить максимальную (полную) массу балласта для адаптации трактора к операциям почвообработки 1-й группы.

На нижеприведенном рисунке представлены графические зависимости $N_{ep} = f(p_{KP})$ при установленных значениях N_{yoi} для номинальных скоростных режимов использования колесных 4к4 тракторов в разных технологиях почвообработки. В каждом тяговом классе диапазоне номинальных тяговых усилий ($p_{KPHmin} - p_{KPHmax}$) соответствуют 2-3 типоразмера мощности для операций почвообработки разных групп. Графическое представление типоразмерного ряда тракторов, включающее указание тяговых классов и мощности, соответствует двухпараметрической системе классификации, приведенной в таблице 2.



Зависимости потребной мощности колесных тракторов от номинального тягового усилия при различных скоростях рабочего хода ($\varphi_{крн} = 0,41$)

Двухпараметрический типоразмерный ряд тракторов (кроме малогабаритных) представляет растущую последовательность взаимосвязанных классификационных параметров – номинального тягового усилия и потребной мощности для разных диапазонов рабочих скоростей обработки почвы. Он состоит из 9 тягово-мощностных классов с установленными грани-

цами номинального тягового усилия, включающими по 2–3 мощностных типоразмера (разряда) для обеспечения указанных скоростных диапазонов. При этом каждый типоразмер мощности может быть использован за счет балластирования не менее чем в 2 тягово-мощностных классах.

Типоразмерный ряд двухпараметрической системы классификации сельскохозяйственных колесных тракторов

Тяговый класс	$P_{кРН}$, кН	$m_{э}$, т	$N_{ер}$, кВт	V_H , м/с	$m_{уд}$, кг/кВт	Категория мощности
0,6	5,4-8,1	1,34-2,01	19-27 28-42	2,25-2,13 3,31-3,32	70,5-74,4 47,9-47,9	I
0,9	8,1-12,6	2,01-3,13	28-42 43-64	2,21-2,13 3,34-3,25	71,8-74,5 46,7-48,9	I-II
1,4	12,6-18	3,13-4,48	43-64 65-93	2,18-2,28 3,30-3,31	72,8-70,0 48,2-48,2	II
2	18-27	4,48-6,71	65-93 94-120	2,31-2,20 3,34-2,94	68,9-72,2 47,7-55,9	II-III
3	27-36	6,71-8,95	94-120 121-150 151-190	2,23-2,13 2,87-2,67 3,58-3,38	71,4-74,6 55,5-59,7 44,4-47,1	III
4	36-45	8,95-11,2	121-150 151-190 191-230	2,15-2,13 2,68-2,70 3,40-3,27	74,0-74,7 59,3-58,9 46,9-48,7	III-IV
5	45-54	11,21-13,43	151-190 191-230 231-280	2,15-2,25 2,72-2,73 3,29-3,32	74,2-70,7 59,0-58,4 48,5-48,0	IV
6	54-72	13,43-17,90	191-230 231-280 281-380	2,26-2,04 2,74-2,49 3,33-3,38	70,3-77,8 58,1-63,9 47,8-47,1	IV
8	72-108	17,90-26,86	281-380 381-480	2,50-2,25 3,39-2,84	63,7-70,7 47,0-56,0	IV

Предлагаемая классификация позволяет по удельной материалоемкости (энергонасыщенности) определить основное технологическое назначение и условие эффективного использования трактора на операциях почвообработки разных групп. При этом она соответствует международной классификации по категориям мощности.

Для учета качественных отличий энергонасыщенных тракторов в систему их классификации целесообразно ввести понятие «номинальное тяговое усилие с полным балластом», ограничив весь диапазон тяговых усилий двумя номинальными значениями – верхним и нижним [1]. Верхний уровень номинального тягового усилия $P_{кРНmax}$ соответствует эксплуатационной массе трактора с полным балластом, а нижний $P_{кРНБ}$ – эксплуатационной массе с минимальным балластом или без него. Тогда в классификации следует указывать, что трактор переменного тягового класса с установленным

уровнем мощности. Например: трактор тягового-мощностного класса [3-4^{II}] мощностью 190 кВт.

Выводы

1. В качестве основного показателя технологического уровня энергонасыщенных колесных тракторов рекомендуется использовать, по ГОСТ 4.40-84, удельную материалоемкость с установленными значениями для номинальных тягово-скоростных режимов выполнения операций почвообработки разных групп.

2. При построении типоразмерного ряда энергонасыщенных сельскохозяйственных тракторов и их сравнении следует применять двухпараметрическую классификацию по номинальному тяговому усилию на крюке и развиваемой эксплуатационной мощности двигателя в номинальном режиме рабочего хода, используя тягово-мощностные классы с установленными границами.

Литература

1. Кутьков Г.М. Энергонасыщенность и классификация тракторов // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – № 5. – С. 11–14.
2. О классификации энергонасыщенных сельскохозяйственных тракторов / П.А. Амельченко [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 7. – С. 3–7.
3. Парфенов А.П. Тенденции развития конструкций сельскохозяйственных тракторов // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 5. – С. 42–47.
4. Селиванов Н.И. Технологические свойства мощных тракторов / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2015. – 202 с.
5. Селиванов Н.И., Запрудский В.Н., Макеева Ю.Н. Удельная материалоемкость колесных тракторов // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 2. – С. 56–63.
6. Селиванов Н.И., Макеева Ю.Н. Балластирование колесных тракторов на обработке почвы // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 5. – С. 77–81.
7. ГОСТ 4.40-84. Система показателей качества продукции. Тракторы сельскохозяйственные. Номенклатура показателей. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 8 с.
8. Методика использования условных коэффициентов перевода тракторов, зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов в эталонные единицы при определении нормативов их потребности / А.Ю. Измайлов [и др.]. – М., 2009. – 54 с.
9. ГОСТ 27021-86. Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 8 с.
10. Международный стандарт ИСО. Сельскохозяйственные колесные тракторы. ИСО 730-1. 1994 /Е/ – М.: Изд-во стандартов, 1994.

Literatura

1. Kut'kov G.M. Jenergonasyshhennost' i klassifikacija traktorov // Traktory i sel'hozmashiny. – 2009. – № 5. – S. 11–14.
2. O klassifikacii jenergonasyshhennyh sel'skhozajstvennyh traktorov / P.A. Amel'chenko [i dr.] // Traktory i sel'hozmashiny. – 2011. – № 7. – S. 3–7.
3. Parfenov A.P. Tendencii razvitija konstrukcij sel'skhozajstvennyh traktorov // Traktory i sel'hozmashiny. – 2015. – № 5. – S. 42–47.
4. Selivanov N.I. Tehnologicheskie svojstva moshhnyh traktorov / Krasnojar. gos. agrar. un-t. – Krasnojarsk, 2015. – 202 s.
5. Selivanov N.I., Zaprudskij V.N., Makeeva Ju.N. Udel'naja materialoemkost' kolesnyh traktorov // Vestnik KrasGAU. – 2015. – № 2. – S. 56–63.
6. Selivanov N.I., Makeeva Ju.N. Ballastirovanie kolesnyh traktorov na obrabotke pochvy // Vestnik KrasGAU. – 2015. – № 5. – S. 77–81.
7. GOST 4.40-84. Sistema pokazatelej kachestva produkcii. Traktory sel'skhozajstvennyje. Nomenklatura pokazatelej. – M.: Izd-vo standartov, 1984. – 8 s.
8. Metodika ispol'zovanija uslovnyh koeficientov perevoda traktorov, zernouborochnyh i kormouborochnyh kombajnov v jetalonnye edinicy pri opredelenii normativov ih potrebnosti / A.Ju. Izmajlov [i dr.]. – M., 2009. – 54 s.
9. GOST 27021-86. Traktory sel'skhozajstvennyje i les hozajstvennyje. Tjagovyje klassy. – M.: Izd-vo standartov, 1986. – 8 s.
10. Mezhdunarodnyj standart ISO. Sel'skhozajstvennyje kolesnye traktory. ISO 730-1. 1994 /E/ – M.: Izd-vo standartov, 1994.