

АДАПТАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА К ЗОНАЛЬНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ ПОЧВООБРАБОТКИ

N.I. Selivanov, S.Yu. Zhuravlev

THE ADAPTATION OF THE PARAMETERS OF A WHEELED TRACTOR TO ZONAL TECHNOLOGY CULTIVATION

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

Журавлев С.Ю. – канд. техн. наук, доц. каф. механики и технического сервиса в АПК Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: SUJ61@mail.ru

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

Zhuravlev S.Yu. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Mechanization and Technical Service in Agrarian and Industrial Complex, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: SUJ61@mail

Цель работы – обоснование тягово-скоростных диапазонов и параметров энергонасыщенных колесных тракторов улучшенной классической компоновки для зональных технологий почвообработки. Задача исследований: обоснование рациональных эксплуатационных параметров тягово-динамической характеристики колесного 4К4а трактора 5-го класса тяги на основе вариации балластирования и применения сдвоенных и одинарных колес для реализации разных групп технологических операций почвообработки. Решение задач проводилось с учетом технической характеристики трактора JohnDeere 8310R и условий комплектации съемными балластными грузами. По результатам исследований установлены рациональные тягово-скоростные диапазоны и параметры колесного трактора 4К4а JohnDeere 8310R с максимальной эксплуатационной мощностью 226 кВт путем вариации балластирования на одинарных и сдвоенных колесах. При обосновании массо-энергетических параметров использована универсальная методика прогнозирования показателей тяговой характеристики трактора в составе агрегатов, выполняющих различные технологические операции почвообработки. Результаты моделирования показали целесообразность и эффективность применения балластных грузов при регулировании эксплуатационной массы для обеспечения наивысших тягово-энергетических показателей трактора в рациональном интервале рабочих скоростей при реализации ресурсосберегающих технологий почвообработки. Оснащение трактора сдвоенными колесами позволяет увеличить тяговый КПД на 6,7 % в пределах рационального тягового диапазона, ограниченного минимальным и максимальным буксовани-

ем. Наиболее универсальным является трактор с удельной массой $m_{уд}^* = 66,09 \text{ кг/кВт}$ ($m_s^* = 14936 \text{ кг}$) при комплектации сдвоенными (2К) колесами. Трактор, имеющий такие массоэнергетические параметры, обладает существенными преимуществами по сравнению с другими комплектациями при выполнении операций почвообработки всех трех основных групп.

Ключевые слова: трактор, удельные параметры, рабочая скорость, балластирование, операции почвообработки.

The study purpose was the justification of traction and high-speed ranges and parameters of power saturated wheel tractors of improved classical configuration for zone technologies of tillage. The research problem was the justification of rational operational parameters of traction dynamic characteristics wheel 4k4a tractor of the 5-th class of draft on the basis of the variation of ballasting and application of dual and unary wheels for the realization of different groups of technological operations of tillage. The decision of research problems was passed taking into account technical characteristics of JohnDeere 8310R tractor and conditions of complete set by removable ballast freights. By the results of researches rational traction and high-speed ranges and parameters of wheel tractor 4K4a JohnDeere 8310R with the maximum operational power of 226 kW by ballasting variation on unary and dual wheels were established. At justification of mass power parameters universal technique of forecasting of indicators of the traction characteristic of the tractor as a part of the units carrying out various technological operations of tillage was used. The results of modeling showed the expediency and efficiency of application of ballast freights at regulation of operational weight for providing the highest traction

and power indicators of the tractor in rational interval of working speeds at the realization of resource-saving technologies of tillage. The equipment of tractor with dual wheels allows increasing traction efficiency by 6.7 % within rational traction range limited to the minimum and maximum slipping. The most universal is the tractor with a specific weight = 66.09 kg/kW (=14936 kg) at complete set dual (2K) wheels. The tractor having such weight power parameters has essential advantages in comparison with other complete sets when performing operations of tillage of all three main groups.

Keywords: tractor, specific parameters, working speed, ballasting, operations of cultivation.

Введение. Требования ресурсосбережения и высокой производительности при реализации технологий возделывания зерновых и кормовых культур в условиях рыночной экономики предполагают необходимость максимальной адаптации энергонасыщенных колесных тракторов, как основных мобильных энергосредств, к природно-производственным условиям [1]. Основным адаптируемым параметром энергонасыщенного колесного трактора с установленной характеристикой двигателя, регулируемым до начала технологического процесса, является величина распределения по осям эксплуатационной массы $m_э$. Ее регулируют установкой съемных балластных грузов, заполнением жидкостью шин, оснащением сдвоенными колесами [2]. Предельный уровень балластирования (отношение максимальной массы трактора к минимальной) достигает 1,40, причем только за счет съемных грузов на одинарных и сдвоенных колесах до 1,25–1,30.

Условия балластирования колесных 4К4а тракторов определяются рациональным диапазоном тяговых усилий и интервалом рабочих скоростей в современных технологиях почвообработки. Поэтому обоснование рационального тягово-скоростного диапазона и массоэнергетических параметров колесных 4К4а тракторов для зональных технологий почвообработки является актуальным и существенно важным для реализации системы ресурсосбережения в отрасли растениеводства.

Цель работы. Обоснование тягово-скоростного диапазона и удельных параметров колесного 4К4а трактора для зональных технологий почвообработки.

Задачи исследований: установить рациональный тяговый диапазон использования трактора; обосновать эксплуатационные параметры тракторов для реализации ресурсосберегающих технологий почвообработки.

Материалы и методы исследований. Решение задач исследований проводилось с учетом технической характеристики трактора John Deere 8310R и условий комплектации съемными балластными гру-

зами. Комплект балласта включает грузы для задних и передних колес с максимальной массой соответственно 635 и 280 кг. На переднем кронштейне могут быть размещены грузы массой до 1000 кг. Эксплуатационная мощность двигателя, согласно стеновой характеристике, составляет в номинальном режиме $N_{еэ} = 205$ кВт, максимальная мощность дизеля $N_{е max} = 226$ кВт. При определении параметров трактора и его тяговой характеристики учитывались требования для разных групп технологических операций основной обработки почвы по рабочей скорости движения агрегата [3]:

1) отвальная вспашка и глубокое рыхление с номинальным значением и интервалом $V_{н1}^* = 2,2 \pm 0,25$ м/с;

2) послеуборочная безотвальная комбинированная обработка (сплошная культивация), дискование и чизелевание $V_{н2}^* = 2,7 \pm 0,3$ м/с;

3) поверхностная послеуборочная обработка (пущение стерни), предпосевная обработка, обработка и посев по нулевой технологии $V_{н3}^* = 3,3 \pm 0,5$ м/с.

Сопоставление расчетных массоэнергетических параметров трактора с различной эксплуатационной массой $m_э$ при выполнении всех трех групп операций позволило установить наиболее рациональные значения удельной массы $m_{yд}^*$ при обоснованных тягово-скоростных режимах.

Расчетные значения $m_{yд}^*$ (кг/кВт) определялись по соотношению [4]

$$m_{yд}^* = \frac{\eta_T \cdot 10^3}{g \cdot \varphi_{кр}^* \cdot V_n^*}, \quad (1)$$

где η_T – тяговый КПД; g – ускорение силы тяжести; $\varphi_{кр}^*$ – коэффициент использования сцепного веса; V_n^* – номинальная скорость движения агрегата, м/с.

Оптимальная величина эксплуатационной массы трактора $m_э^*$ на одинарных (1К) и сдвоенных (2К) колесах без балласта и с балластными грузами, соответствующая значениям $m_{yд}^*$, рассчитывалась по формуле [5]

$$m_э^* = m_{yд}^* \cdot N_{еэ} \cdot \xi_N^*, \quad (2)$$

где $N_{еэ}$ – эксплуатационная мощность дизеля трактора, кВт; ξ_N^* – оптимальная степень использования мощности двигателя.

Буксование δ и другие основные параметры потенциальной тяговой характеристики трактора для различных значений $\varphi_{кр}$ устанавливали по выражениям:

$$\delta = \frac{a \cdot (\varphi_{кр} - d)}{(b - \varphi_{кр})}; \quad (3)$$

$$\eta_T = \eta_{mp} \cdot (1 - \delta) \frac{\varphi_{кр}}{(\varphi_{кр} + f)}; \quad (4)$$

$$P_{кр} = m_э^* \cdot g \cdot \varphi_{кр} \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

$$V_H = \frac{\eta_T \cdot 10^{-3}}{(g \cdot \varphi_{кр} \cdot m_{y\delta}^*)}; \quad (6)$$

$$N_{кр} = (m_э^* \cdot \eta_T) / m_{y\delta}^*, \quad (7)$$

где a, b, d – расчетные коэффициенты ($a = 0,163$; $b = 0,979$; $d = 0,04$ для 2К); η_{mp} – КПД трансмиссии; f – коэффициент сопротивления качению (для 1К – $f = 0,08$; для 2К – $f = 0,06$); $P_{кр}$ – сила тяги, кН; $N_{кр}$ – тяговая мощность трактора, кВт.

Результаты исследований и их обсуждение.

По результатам полевого и вычислительного экспериментов дана оценка тягово-сцепных свойств трактора JD-8310R с одинарными и сдвоенными колесами на стерне колосовых (рис., табл.). Полученные графические зависимости $\eta_m, \delta = (\varphi_{кр})$ позволили определить рациональные тяговые диапазоны ($\varphi_{кр min} - \varphi_{кр max}$) трактора, ограниченные минимальным $\delta_{min} = 0,08$ и максимальным $\delta_{max} = 0,15$ буксованием. На одинарных колесах этот диапазон находится в пределах 0,32–0,465, а на сдвоенных несколько смещен (0,34–0,475) в сторону больших значений $\varphi_{кр}$.

С вероятностью функционирования трактора не менее 0,90 в пределах указанного диапазона обос-

нованы средние значения номинальных тяговых режимов: для выполнения наиболее энергоемких операций почвообработки первой группы при $V_{H1}^* = 2,20$ м/с, $\varphi_{кр H1} = 0,45$; на операциях второй группы с $V_{H2}^* = 2,70$ м/с, $\varphi_{кр H2} = 0,41$; для наиболее энергоемких операций третьей группы при $V_{H3}^* = 3,30$ м/с, $\varphi_{кр H3} = 0,37$ соответствует режиму максимального тягового КПД.

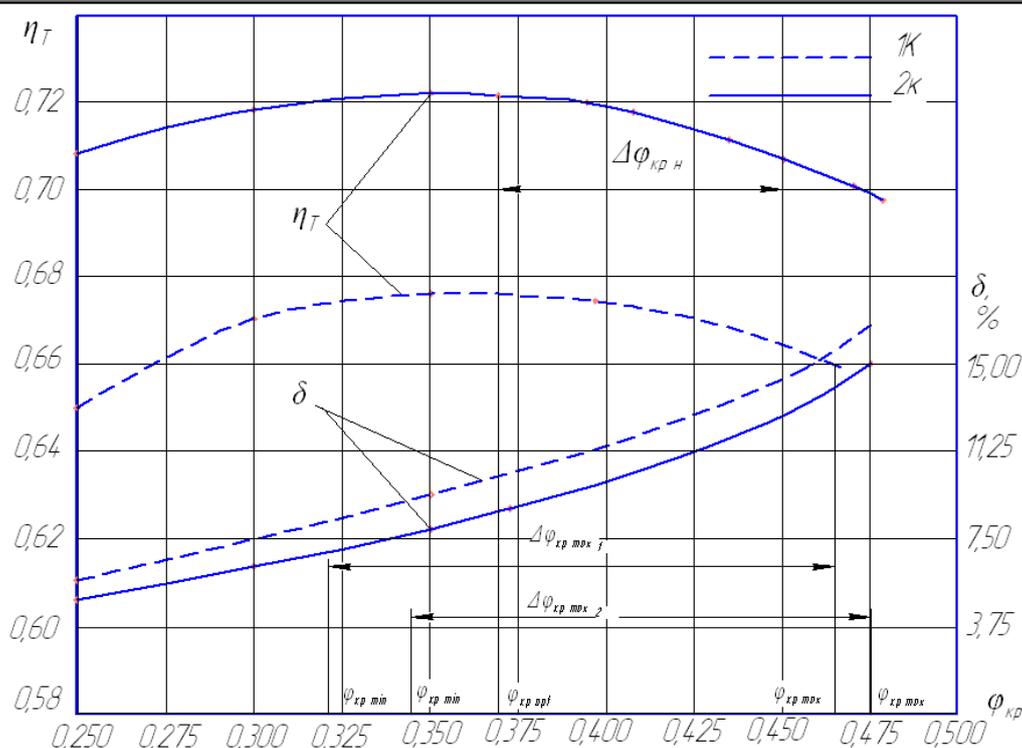
Снижение коэффициента сопротивления передвижению с $f_1 = 0,08$ на одинарных колесах до $f_2 = 0,06$ на сдвоенных колесах обеспечило повышение тягового КПД η_m в пределах рационального тягового диапазона на 6,7 %. Оптимальные значения удельной массы для каждой группы операций увеличились при этом адекватно повышению η_m .

Анализ расчетных данных по значениям эксплуатационных параметров трактора с различной величиной $m_э^*$ (табл., рис.) позволяет сделать следующие выводы.

При выполнении отвальной вспашки (операции первой группы) в тяговом диапазоне, ограниченном буксованием $0,08 \leq \delta \leq 0,15$, наиболее эффективен трактор с удельной массой $m_{y\delta 1}^* = 68,44$ кг/кВт и комплектацией 1К. Диапазон буксования трактора $\delta = 0,08 - 0,15$ позволяет максимально использовать возможности колесной схемы 4К4 за счет оптимального распределения удельной и, соответственно, эксплуатационной массы. Для других операций первой группы предпочтительно использовать в составе агрегата трактор с удельной массой 73,08 кг/кВт на сдвоенных колесах при одинаковом значении $\varphi_{кр H1} = 0,45$. Величина номинального тягового КПД при этом увеличивается с 0,667 до 0,709 (табл.).

Оптимальные параметры трактора для основных групп операций обработки почвы

Группа операций	V_H^* , м/с	Комплектация	$\varphi_{кр H}^*$	$\eta_{m H}^*$	$m_{y\delta}^*$, кг/кВт	$m_э^*$, кг	$(V_{min} - V_{max})^*$, м/с
1	2,2	1К	0,45	0,664	68,44	15467	2,12–3,14
		2К	0,45	0,709	73,08	16516	1,94–2,96
2	2,7	1К	0,41	0,673	62,04	14021	2,34–3,46
		2К	0,41	0,717	66,09	14936	2,27–3,27
3	3,3	1К	0,37	0,676	56,49	12768	2,57–3,8
		2К	0,37	0,721	60,26	13619	2,49–3,59



Характеристики $\eta_T, \delta = f(\varphi_{кр})$ трактора «John Deere 8310R» с одинарными (1К) и сдвоенными (2К) колесами

На операциях почвообработки второй группы трактор John Deere 8310R в комплектации 1К наиболее эффективен с удельной массой $m_{уд2}^* = 62,04$ при буксовании $\delta = 0,126$. Установка сдвоенных колес позволяет при этой же величине балластных грузов снизить δ до 0,106 и увеличить тяговую мощность $N_{кр}$ от 150 до 162 кВт.

На операциях третьей группы максимальная энергетическая эффективность достигнута при удельной 60,26 кг/кВт и, соответственно, эксплуатационной массе $m_э = 13619$ кг и сдвоенных колесах.

Трактор с комплектацией $m_{уд3}^* = 56,49$ кг/кВт 1К может быть использован для выполнения операций третьей группы и транспортных работ.

С удельной массой $m_{уд2}^* = 62,04$ кг/кВт на одинарных колесах рассматриваемый трактор имеет наилучшие (для данной комплектации) показатели на операциях второй и третьей группы.

Комплектация 1К с удельной массой $m_{уд1}^* = 68,44$ кг/кВт, при необходимости, может быть использована, кроме вспашки, на операциях первой и второй групп. Но она менее предпочтительна по сравнению с трактором на сдвоенных колесах при $m_{уд1}^* = 73,08$ кг/кВт.

Трактор с минимальным балластированием ($m_{уд}^* = 60,26$ кг/кВт), оснащенный сдвоенными колесами, имеет тяговую мощность до 163 кВт в диапа-

зоне ($\varphi_{кр min} - \varphi_{кр max}$). Однако установленный для данной комплектации интервал рабочих скоростей ($V_{min} - V_{max}$)*=2,49–3,59 м/с не позволяет использовать его на операциях первой группы.

При выполнении всех трех групп операций почвообработки в составе различных мобильных агрегатов для трактора John Deere 8310R наиболее рациональное значение $m_{уд2}^* = 66,09$ кг/кВт ($m_э = 14936$ кг) на сдвоенных колесах. Данный вариант адаптирующих воздействий на эксплуатационные параметры трактора наиболее приемлем, исходя из параметров тяговой характеристики и допустимого диапазона рабочих скоростей ($V_{min} - V_{max}$)* трактора.

Максимальное балластирование ($m_{уд1}^* = 73,08$ кг/кВт) в комплектации 2К дает трактору ощутимое преимущество при выполнении первой группы операций с учетом скорости $V_H^* = 2,2$ м/с и тяговой мощности трактора $N_{кр} = 160$ кВт по сравнению с комплектацией 1К и $m_{уд}^* = 68,44$ кг/кВт ($N_{кр} = 150$ кВт). Однако использование указанной комплектации на операциях второй и третьей групп не дает преимуществ.

Выводы

1. С учетом ограничений на буксование $\delta = 0,08-0,15$ рациональный тяговый диапазон ($\varphi_{кр min} -$

$\varphi_{кр\ max}$) для комплектаций трактора JD-8310R с одинарными и двояными колесами составил соответственно 0,320–0,465 и 0,340–0,475.

2. Наиболее рациональной для выполнения всех трех групп операций почвообработки является масса трактора $m_3 = 14936$ кг при $m_{уд}^* = 66,09$ кг/кВт на двояных колесах. При такой величине m_3 трактора тяговые агрегаты разного технологического назначения имеют наивысшие показатели энергетической эффективности в пределах номинального тягового диапазона ($\Delta\varphi_{кр.н} = 0,370–0,450$).

Литература

1. Парфенов А.П. Тенденции развития конструкций сельскохозяйственных тракторов // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 5. – С. 42–47.
2. Селиванов Н.И., Селиванов И.А., Шрайнер Э.Г. Технологическая потребность в высокомоощных колесных тракторах // Вестн. КрасГАУ. – 2014. – № 5. – С. 215–220.
3. Селиванов Н.И. Эксплуатационные параметры колесных тракторов высокой мощности // Вестн. КрасГАУ. – 2014. – № 3. – С. 176–184.
4. Селиванов Н.И., Макеева В.Н. Эксплуатационные параметры колесных тракторов для зо-

нальных технологий почвообработки // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 2. – С. 56–63.

5. Селиванов Н.И., Макеева В.Н. Рациональное использование энергонасыщенных колесных тракторов в технологиях почвообработки // Вестн. КрасГАУ. – 2017. – № 3. – С. 58–65.

Literatura

1. Parfenov A.P. Tendencii razvitija konstrukcij sel'skohozijsstvennyh traktorov // Traktory i sel'hozmashiny. – 2015. – № 5. – S. 42–47.
2. Selivanov N.I., Selivanov I.A., Shrajner Je.G. Tehnologicheskaja potrebnost' v vysokomoshhnyh kolesnyh traktorah // Vestn. KrasGAU. – 2014. – № 5. – S. 215–220.
3. Selivanov N.I. Jekspluatacionnye parametry kolesnyh traktorov vysokoj moshhnosti // Vestn. KrasGAU. – 2014. – № 3. – S. 176–184.
4. Selivanov N.I., Makeeva V.N. Jekspluatacionnye parametry kolesnyh traktorov dlja zonal'nyh tehnologij pochvoobrabotki // Vestn. KrasGAU. – 2015. – № 2. – S. 56–63.
5. Selivanov N.I., Makeeva V.N. Racional'noe ispol'zovanie jenergonasyshennyh kolesnyh traktorov v tehnologijah pochvoobrabotki // Vestn. KrasGAU. – 2017. – № 3. – S. 58–65.

УДК 539.3+532.5

И.О. Богульский

ХРУПКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ЛЕДЯНОГО СЛОЯ ПРИ Понижении Уровня ВОДЫ

I.O. Bogulsky

BRITTLE FRACTURE OF ICE LAYER UNDER WATER LEVEL LOWERING

Богульский И.О. – д-р физ.-мат. наук, проф. каф. высшей математики и компьютерного моделирования Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: bogul.io@ya.ru

Bogulsky I.O. – Dr. Phys. and Math. Sci., Prof., Chair of Higher Mathematics and Computer Modeling, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: bogul.io@ya.ru

Настоящая работа продолжает изучение поведения толстого ледяного поля, плавающего на поверхности воды, при понижении уровня воды. Ранее рассматривалась стационарная задача о равновесии ледяного слоя вблизи плоского участка берега. Были изучены различные способы контакта с берегом, получено напряженно-деформируемое состояние ледяного поля, как со свободной верхней поверхностью, так и нагружен-

ного некоторой силой; выполнена оценка «опасной зоны». Натурные наблюдения разрушения льда говорят о наличии в ледяном поле двух характерных трещин: в месте контакта с берегом и на расстоянии 10–12 толщин. Однако в рамках стационарной задачи не удается объяснить возникновение второй трещины. Все это приводит к необходимости рассматривать динамику поведения ледяного поля после возникновения первой трещи-