

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 629.114.2

Н.И. Селиванов, Ю.Н. Макеева

**РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ
В ТЕХНОЛОГИЯХ ПОЧВООБРАБОТКИ**

N.I. Selivanov, Yu.N. Makeeva

**RATIONAL USE OF HIGH POWER SATURATED WHEELED TRACTORS
IN SOIL CULTIVATION TECHNOLOGIES**

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

Макеева Ю.Н. – асп. каф. тракторов и автомобилей Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: info@kgau.ru

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

Makeeva Yu.N. – Post-Graduate Student, Chair of Tractors and Cars, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: info@kgau.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований эффективности использования почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения при балластировании колесного трактора улучшенной классической компоновки NX T8.390 на одинарных и сдвоенных колесах. В основу положены сравнительные оценки чистой производительности и удельных топливных затрат почвообрабатывающих агрегатов, а также потерь мощности на перемещение и буксование их определяющих, в диапазоне рабочих скоростей от 2,0 до 3,5 м/с при минимальных и максимальных (с балластом $m_{Б\max} = 3,5$ т) значениях эксплуатационной массы трактора разной комплектации для отличающихся по энергоемкости операций почвообработки третьей и первой групп. По результатам испытаний определено влияние комплектации, балластирования и загрузки двигателя трактора на формирование пока-

зателей эффективности указанных агрегатов. Максимальное балластирование трактора повышает эффективность его использования на энергоемких операциях почвообработки первой (отвальная вспашка) и второй (глубокая безотвальная обработка) групп в диапазоне рабочих скоростей от 2,0 до 3,0 м/с независимо от комплектации и степени загрузки. На операциях почвообработки третьей группы с меньшей энергоемкостью в диапазоне рабочих скоростей от 3,00 до 3,60 м/с балластирование трактора приводит, в зависимости от его комплектации, к снижению производительности до 3,12 % при дополнительных затратах топлива на перемещение каждой тонны балласта от 0,391 до 0,654 кг/ч. Рекомендовано использование трактора базовой комплектации без балластирования на рабочей скорости выше 3,0 м/с и рациональное размещение съемного балласта с удельной массой 13–15 кг/кВт в диапазоне рабочих ско-

ростей от 2,0 до 3,0 м/с при оптимальной загрузке двигателя.

Ключевые слова: адаптация, агрегат, балластирование, комплектация трактора, показатели эффективности.

The results of experimental studies of efficiency of soil cultivation using units of different technological appointment when ballasting a wheel tractor of improved classical configuration of NX T8.390 on unary and dual wheels are presented. Comparative estimates of pure productivity and specific fuel expenses of soil-cultivating units and also losses of power on movement and slipping defining them, in the range of working speeds from 2.0 to 3.5 m/s are the basis at minimum and maximum (with a ballast of 3.5 t) values of operational mass of the tractor of a different complete set for the operations of soil cultivation of the third and first groups differing in power consumption. By the results of tests the influence of complete set, ballasting and loading of the engine of the tractor on the formation of indicators of efficiency of specified units was defined. The maximum ballasting of the tractor increases efficiency of its use on power-intensive operations of soil cultivation of the first (dump plowing) and the second (deep without mould-board processing) groups in the range of working speeds from 2.0 to 3.0 m/s irrespective of complete set and extent of loading. On operations of soil cultivation of the third group with smaller power consumption from 3.00 to 3.60 m/s with ballasting of the tractor brings in the range of working speeds, depending on its complete set, to decline in production to 3.12 % at additional costs of fuel of movement of each ton of ballast from 0.391 to 0.654 kg/h. The use of the tractor of basic complete set without ballasting at working speed over 3.0 m/s and rational placement of removable ballast with specific weight of 13–15 kg/kW in the range of working speeds from 2.0 to 3.0 m/s is recommended at optimum loading of engine.

Keywords: adaptation, unit, ballasting, tractor complete set, efficiency indicators.

Введение. В последние годы на российском рынке широко представлены модельные ряды зарубежных и отечественных сельскохозяйственных тракторов колесной формулы 4к4а улучшенной классической компоновки с увели-

ченным диаметром передних управляемых колес, которые воспринимают 40–45 % веса [1, 2]. Доля продаж этих тракторов достигла 93 % при повышении верхней границы мощности до 280–300 кВт (380–400 л.с.).

Для адаптации к технологиям почвообработки разных по энергоемкости групп на всех моделях тракторов с установленной мощностью двигателя применяется регулирование и рациональное распределение по осям эксплуатационной массы путем сдвигания задних и передних колес с изменением давления в шинах, а также использование разного количества съемных балластных грузов, размещенных неподвижно в передней части остова и на дисках задних и передних колес.

Анализ эксплуатации почвообрабатывающих агрегатов на базе таких тракторов показал [2, 3], что большинство из них скомплектовано и используется без достаточного обоснования и оценки оптимальных тягово-скоростных режимов работы. Чаще всего они функционируют на пониженных рабочих скоростях при нарушении агротребований с частичной загрузкой двигателя и недоиспользованием потенциальных возможностей трактора.

При этом балластирование и комплектование тракторов сдвоенными колесами, при неоднозначности рекомендаций изготовителей и ограниченном опыте производственной эксплуатации, производятся без учета условий их функционирования в режиме рабочего хода.

Цель исследования: повышение эффективности использования энергонасыщенных колесных тракторов разной комплектации в технологиях основной обработки почвы.

Для достижения поставленной цели предусмотрено решение следующих **задач:**

- 1) определить зависимость показателей эффективности почвообрабатывающих агрегатов от скоростного режима работы при балластировании трактора NX T8.390 разной комплектации;
- 2) обосновать рациональные скоростные диапазоны использования колесных тракторов разной комплектации при балластировании.

Материалы и методы исследования. При решении поставленных задач учитывались ранее установленные показатели, рекомендации, допущения и ограничения по использованию и

балластированию энергонасыщенных колесных тракторов [3, 4–6].

Базовой комплектации трактора NX Т8.390 с установленной мощностью двигателя $N_{e3} = 250 \text{ кВт}$ при $n_H = 2000 \text{ мин}^{-1}$ и $K_M = 1,36$ соответствует эксплуатационная масса $m_{\text{Э3}}^* = m_{\text{ЭБ}} = 12,75 \text{ т}$ на одинарных колесах без съемного балласта и с наполовину заполненным топливным баком для выполнения наименее энергоемких операций почвообработки третьей группы в оптимальном диапазоне рабочих скоростей $V_{H3}^* \pm \Delta V_3$. Эксплуатационная масса трактора на одинарных (1К) и сдвоенных (2К) колесах без балласта и с полным балластом $m_{B \max} = 3,5 \text{ т}$ определялась из условия обеспечения оптимальных значений удельной массы $m_{уд}^* = m_{Э}^* / N_{e3} \cdot \xi_N^*$ на операциях почвообработки третьей и первой групп соответственно при $V_{H3}^* = 3,33 \text{ м/с}$, $V_{H1}^* = 2,20 \text{ м/с}$ и $\xi_N^* = 1,0$.

По результатам сравнительных производственных испытаний почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения

дана оценка эффективности их использования в зависимости от комплектации и балластирования трактора NX Т8.390.

В основу положена сравнительная оценка осредненных на каждой передаче значений чистой производительности $W_i = B_{pi} \cdot V$, $\text{м}^2/\text{с}$, и топливных затрат $gw_i = G_{Ti} / W_i$, кг/га , а также их относительных величин $W^0 = W_3 / W_1$ и $gw^0 = gw_3 / gw_1$ с учетом коэффициента загрузки двигателя $K_3 = N_e / N_{e3}$ на режиме $n \approx n_H$ при изменении рабочей скорости в пределах реализуемого диапазона путем последовательного перехода на повышенные передачи.

В таблице 1 приведены пределы изменения основных параметров – адаптеров первой группы почвообрабатывающих агрегатов при разной комплектации и балластировании трактора NX Т8.390. Для оценки эффективности работы использованы параметры-адаптеры второй группы [7], включающие действительную скорость агрегата V , буксование трактора δ , коэффициент загрузки K_3 и частоту вращения коленвала двигателя n .

Таблица 1

Параметры трактора NX Т8.390 и состав почвообрабатывающих агрегатов при производственных испытаниях

Вид операции и рабочая машина	V , м/с	Передача П	Комплектация	$m_{\text{Э}}^*$, т	$m_{B \max}$, т	$m_{уд}^*$, кг/кВт	A_u
1. Культивация $h = 0,08-0,10 \text{ м}$ Культиватор Landmaster-9800	2,0–3,4	7–11	1К	12,75	0	51,0	0,40
				16,25	3,5	65,0	0,47
			2К	14,35	0	57,4	0,40
				17,85	3,5	71,4	0,47
2. Дискование $h = 0,10-0,12 \text{ м}$ Борона дисковая БДМ8-4П	2,0–3,1	7–11	2К	14,35	0	57,4	0,40
				17,85	3,5	71,4	0,47
3. Дискование $h = 0,16-0,18 \text{ м}$ Борона дисковая БДМ8-4П	2,0–2,7	7–9	2К	14,35	0	57,4	0,40
				17,85	3,5	71,4	0,47

Характер изменения составляющих энергетического баланса при балластировании трактора определяет их соотношение и зависимость

от тягово-скоростного режима использования. Увеличение потерь на перемещение трактора с балластом $\Delta N_f = (N_{f1} - N_{f3})$, при установ-

ленных значениях коэффициента сопротивления качению [2] ($f_{1К} = 0,10, f_{2К} = 0,06$), выразится как

$$\Delta N_f = m_{Б\max} \cdot g \cdot f \cdot V. \quad (1)$$

Снижение при этом потерь мощности на буксование трактора $\Delta N_\delta = (N_{\delta 1} - N_{\delta 3})$ зависит от нагрузки и соотношения скоростных потерь:

$$\Delta N_\delta = N_e \cdot \eta_{TP} (\delta_1 - \delta_3). \quad (2)$$

Эффективность балластирования трактора разной комплектации определится из условий $W^0 \geq 1$ и $gw^0 \leq 1$ при

$$\Delta N \sum (N_f + \Delta N_\delta) \leq 0. \quad (3)$$

Результаты исследования и их обсуждение. В результате обработки экспериментальных данных определены зависимости средних значений коэффициента загрузки двигателя, расхода топлива ($кг/ч$), буксования трактора и производительности агрегата от рабочей скорости $K_3, G_T, \delta, W = f(V)$. Испытаниями установлено, что рост рабочей скорости в достигнутых диапазонах ее изменения приводит к повышению указанных показателей не зависимо от комплектации и балластирования трактора (рис. 1, 2). При неизменной рабочей ширине захвата B_p чистая производительность агрегата прямо пропорциональна скорости $W = B_p \cdot V$. Более существенное повышение коэффициента загрузки и расхода топлива определяется характеристиками удельного сопротивления рабочей машины и тягового КПД трактора K_a , $\eta_T = f(V)$.

Повышение рабочей скорости агрегата в составе трактора базовой комплектации 1К ($m_{ЭБ}^* = 12,75$ т; $A_{ц0} = 0,40$) и культиватора LM-9800 на поверхностной обработке почвы от 2,0 (7п) до 3,10 м/с (11п) (55 %) приводит к увеличению коэффициента загрузки от 0,552 до 1,023 (85 %) и возрастанию удельных топливных затрат на 7,9 %. Этот тягово-скоростной режим с использованием двигателя на участке

постоянной мощности и буксовании 11–12 % является оптимальным (рис. 1, а).

Установка и рациональное размещение полного балласта массой $m_{Б\max} = 3,50$ т для получения $m_{Э1}^* = 16,25$ т и абциссы центра масс $A_y = 0,47$ приводят к увеличению сопротивления перемещению трактора P_f на 3,43 кН и соответствующему снижению на каждой передаче тягового усилия при одновременном повышении номинальной скорости V_i на величину $\Delta V_i = V_{ТТ} (\delta_{1i} - \delta_{3i})$ за счет уменьшения буксования. При частичной нагрузке на 7-10П это сопровождается увеличением K_3 , что обеспечивает повышение производительности на 1,5–2,5 % и рост удельных топливных затрат до 4,6 %. При $K_3 \approx 1,0$ эффективность балластирования определяется соотношением потерь мощности $(N_f + N_\delta)_1 \leq (N_f + N_\delta)_3$. В противном случае наиболее эффективен трактор базовой комплектации.

Анализ полученных результатов показал, что трактор NX Т8.390 базовой комплектации в агрегате с культиватором LM 9800 наиболее эффективен при рабочей скорости $V \geq 2,9 - 3,0$ м/с, поскольку используется с полной загрузкой двигателя в режиме постоянной мощности. По сравнению с балластированным трактором производительность агрегата возрастает на 2,3 % при одинаковых удельных топливных затратах.

Агрегатирование трактора на сдвоенных задних и передних колесах (2К) без балласта с культиватором LM-9800 в указанном диапазоне рабочих скоростей приводит к снижению буксования на 3–4 % и коэффициента загрузки от 2,3 до 9,3 %. Производительность агрегата при этом возрастает от 2,1 до 7,4 % при снижении топливных затрат на 8,0–9,2 % (рис. 1, б). Балластирование трактора ($m_{Э1}^* = 17,85$ т) повышает производительность агрегата до 2,0 % при возрастании топливных затрат на 2,0–5,5 %. При рабочей скорости $V > 3,07$ м/с двигатель выходит на режим постоянной мощности (11п) и эффективность трактора с полным балластом по указанным показателям на 1–2 % ниже, чем у трактора без балласта.

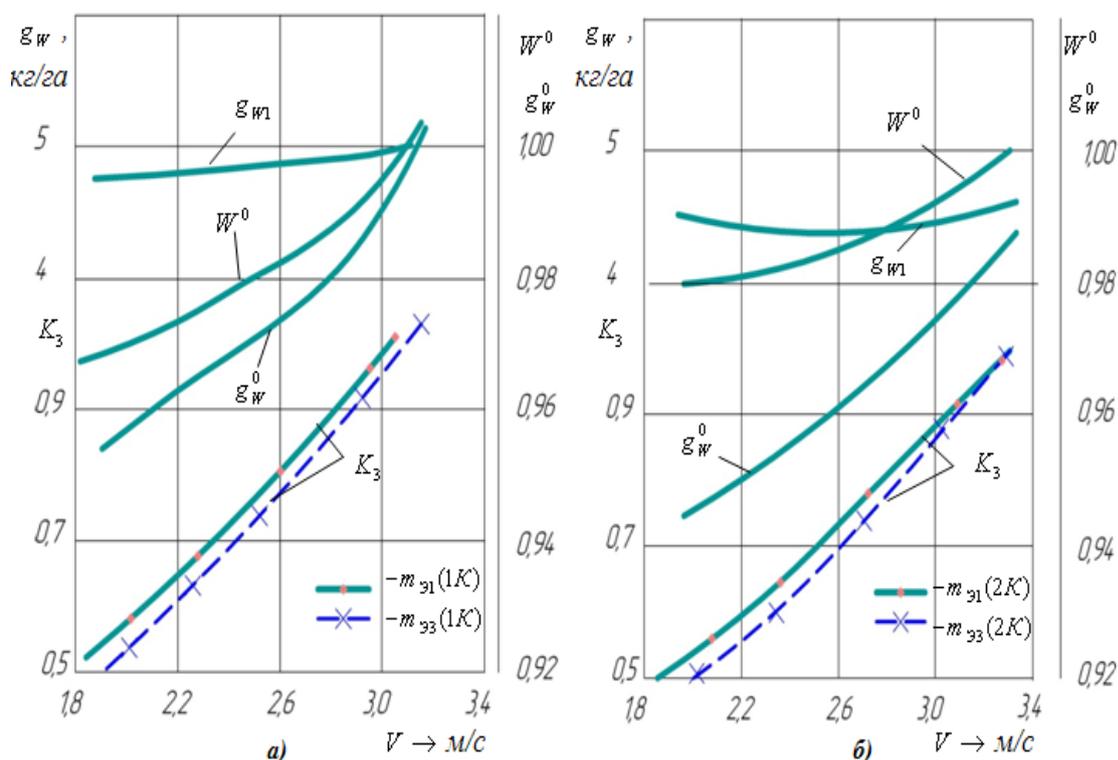


Рис. 1. Показатели производительности и топливной экономичности почвообрабатывающего агрегата NX T8.390+LM 9800: а – одинарные колеса; б – сдвоенные колеса

Показатели использования агрегата NX T8.390+БДМ8-4П на поверхностной обработке почвы имеют аналогичные зависимости от рабочей скорости и комплектации трактора (рис. 2, а). При частичной нагрузке в скоростном диапазоне от 2,0 до 3,0 м/с по производительности наиболее эффективен трактор на сдвоенных колесах с полным балластом. Топливные затраты при этом выше на 2,4–3,4 %, чем у трактора без балласта. На рабочей скорости $V > 3,0$ м/с по показателям производительности и топливных затрат более эффективен трактор без балласта.

При использовании указанного агрегата на глубоком дисковании ($h=0,16-0,18$ м) в реализуемом скоростном диапазоне от 1,98 до 2,53 м/с показатели производительности на 1,6–2,3 % выше с забалластиванным трактором при одинаковых топливных затратах (рис. 2, б).

Характер изменения и соотношение приращений потерь мощности на перемещение ΔN_f и буксование ΔN_8 подтверждает эффектив-

ность балластирования трактора базовой комплектации при использовании в диапазоне рабочих скоростей от 2,0 до 2,9 м/с независимо от нагрузочного режима (рис. 3), поскольку изменение суммарных потерь является отрицательным. Наиболее существенное снижение потерь ΔN_Σ достигается при полной нагрузке в диапазоне скорости $2,20 \pm 0,20$ м/с, рациональном для операций почвообработки первой группы – отвальной вспашки и глубокого рыхления. На частичных нагрузочных режимах эффективность балластирования существенно снижается, поскольку $\Delta N_{\Sigma \max} \leq -2,0 \text{ кВт}$. Эффективность балластирования трактора на сдвоенных колесах обеспечивается при рабочей скорости не выше 3,0–3,1 м/с, независимо от нагрузочного режима. Причем отрицательный эффект от установки съемного балласта в диапазоне рабочих скоростей $3,30 \pm 0,03$ м/с, оптимальном для операций третьей группы, существенно ниже, чем у трактора базовой комплектации.

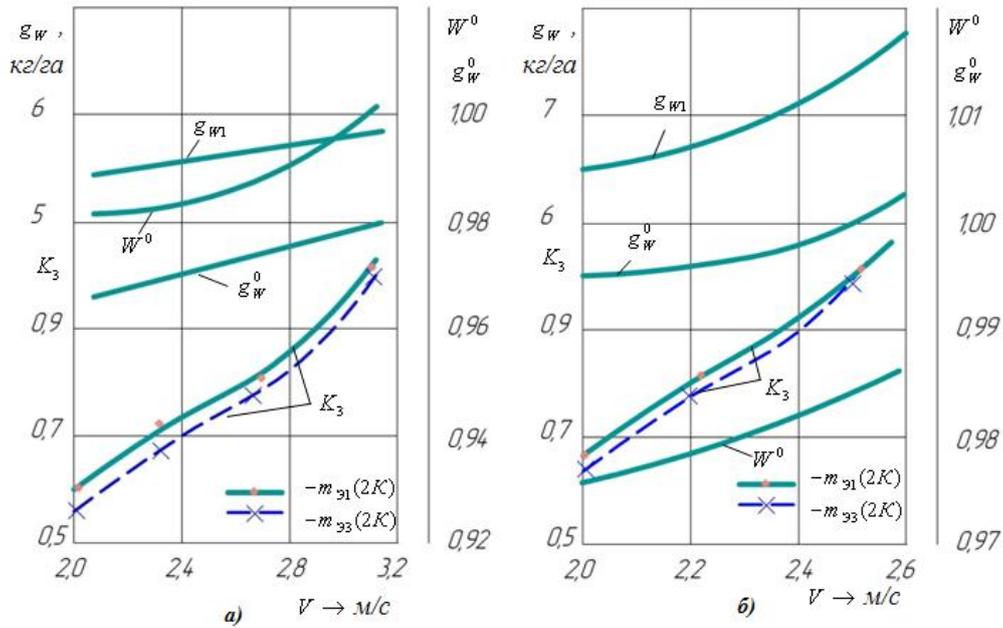


Рис. 2. Показатели производительности и топливной экономичности почвообрабатывающего агрегата NX T8.390+БДМ8-4П: а – $h=0,10-0,12 \text{ м}$; б – $h=0,16-0,18 \text{ м}$

Установленные соотношения изменения потерь мощности ΔN_f и ΔN_δ позволили дать оценку эффективности балластирования трак-

тора разной комплектации при использовании в технологиях почвообработки (табл. 2).

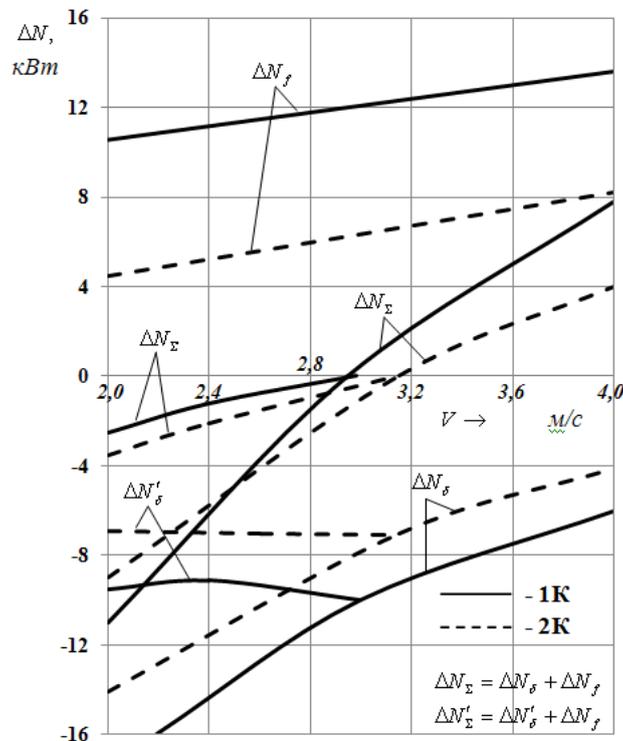


Рис. 3. Изменение потерь мощности на перекатывание ΔN_f и буксование ΔN_δ ($\Delta N_\delta'$) при балластировании трактора NX T8.390

**Показатели эффективности использования трактора
NX T8.390 в технологиях почвообработки при балластировании**

Группа операций	V_H^* , м/с	1К				2К			
		ΔN_f , кВт	ΔN_δ , кВт	ΔG_{Tf} , кг/ч	W^0 , %	ΔN_f , кВт	ΔN_δ , кВт	ΔG_{Tf} , кг/ч	W^0 , %
1	2,20	7,55	-15,75	1,51	5,50	4,53	-12,15	0,91	4,29
2	2,65	9,10	-11,20	1,82	1,33	5,46	-8,90	1,09	1,94
3	3,33	11,43	-6,53	2,29	-3,12	6,86	-5,63	1,37	-0,69

Более существенное снижение потерь мощности на буксование ΔN_δ в диапазоне рабочих скоростей от 2,0 до 2,9 м/с перекрывает увеличение потерь ΔN_f при балластировании и обеспечивает на операциях почвообработки первой и второй групп повышение производительности и соответствующее снижение удельных топливных затрат до 4,29–5,50 % в зависимости от комплектации трактора.

Однако в скоростном диапазоне выше 2,9–3,0 м/с для операций почвообработки третьей группы возрастание потерь ΔN_f на 22–75 % при балластировании трактора превышает снижение потерь ΔN_δ , что приводит к снижению производительности и перерасходу топлива до 3,12 % и 2,29 кг/ч на одинарных колесах и соответственно до 0,69 % и 1,37 кг/ч – на сдвоенных. На передвижение каждой тонны балласта дополнительные затраты топлива составляют при этом 0,654 и 0,391 кг/ч.

Результаты производственных испытаний почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения позволили определить действительные нагрузочно-скоростные режимы и показатели их использования в зависимости от комплектации и степени балластирования трактора NX T8.390. При этом установлено, что действительные значения показателей тягово-скоростных режимов и эффективности отличаются от потенциальных по результатам моделирования не более чем на 3,0 %. Указанное свидетельствует о достаточно-высокой достоверности полученных характеристик и оценочных показателей разработанной [4, 7] методологии многоуровневой оптимизации эксплуатационных параметров колесных тракторов

для адаптации к разным производственным условиям.

Выводы

1. Определено влияние комплектации, балластирования и загрузки энергонасыщенного колесного трактора улучшенной классической компоновки на формирование показателей эффективности использования почвообрабатывающих агрегатов разного технологического назначения в производственных условиях.

2. Полное балластирование трактора базовой комплектации с удельной массой $m_{уд3}^* = 51,0$ кг/кВт и на сдвоенных колесах при $m_{уд3/2К}^* = 57,4$ кг/кВт до обеспечения $m_{уд1}^* = 65,0$ кг/кВт и $m_{уд1/2К}^* = 71,4$ кг/кВт соответственно повышает эффективность использования агрегатов на операциях почвообработки первой и второй групп в диапазоне рабочих скоростей от 2,0 до 3,0 м/с, не зависимо от степени загрузки.

3. На операциях почвообработки третьей группы в диапазоне рабочих скоростей $3,30 \pm 0,30$ м/с установка полного балласта приводит, в зависимости от комплектации трактора, к снижению

4. Адаптацию производительности агрегата до 3,12 % при дополнительных затратах топлива на передвижение каждой тонны балласта от 0,391 до 0,654 кг/ч энергонасыщенных колесных тракторов разной комплектации (на одинарных и сдвоенных колесах) к технологиям почвообработки обеспечивают:

– оптимизация загрузки двигателя с установленной характеристикой при обосновании тягово-скоростных режимов работы и комплектовании агрегатов;

– использование базовой комплектации (без или с частичным балластированием) при $m_{удз}^* = 51 - 53$ кг/кВт в диапазоне рабочих скоростей от 3,0 до 3,8 м/с на операциях почвообработки третьей группы;

– рациональное размещение съемного балласта с максимальной удельной массой $m_{будмах}^* = 13 - 15$ кг/кВт при использовании в диапазоне рабочих скоростей от 2,0 до 3,0 м/с на операциях почвообработки первой и второй групп.

Литература

1. Парфенов А.П. Тенденции развития конструкций сельскохозяйственных тракторов // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 5. – С.42–47.
2. Селиванов Н.И. Рациональное балластирование энергонасыщенных колесных тракторов разной комплектации // Вестн. КрасГАУ. – 2016. – № 8. – С. 123–129.
3. Селиванов Н.И., Макеева Ю.Н. Эффективность использования колесных тракторов в технологиях почвообработки // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 6. – С. 49–57.
4. Селиванов Н.И., Макеева Ю.Н. Балластирование колесных тракторов на обработке почвы // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 5. – С. 77–81.
5. Селиванов Н.И., Макеева Ю.Н. Удельная материалоемкость колесных тракторов при балластировании для технологий почвообработки // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 10. – С. 65–70.
6. Селиванов Н.И., Запрудский В.Н., Макеева Ю.Н. Удельная материалоемкость колесных тракторов // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 2. – С. 56–63.
7. Селиванов Н.И. Технологические свойства мощных тракторов / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2015. – 202 с.

Literatura

1. Parfenov A.P. Tendencii razvitija konstrukcij sel'skohozjajstvennyh traktorov // Traktory i sel'hozmashiny. – 2015. – № 5. – S.42–47.
2. Selivanov N.I. Racional'noe ballastirovanie jenergonasyshennyh kolesnyh traktorov raznoj komplektacii // Vestn. KrasGAU. – 2016. – № 8. – S. 123–129.
3. Selivanov N.I., Makeeva Ju.N. Jefferektivnost' ispol'zovanija kolesnyh traktorov v tehnologijah pochvoobrabotki // Vestn. KrasGAU. – 2015. – № 6. – S. 49–57.
4. Selivanov N.I., Makeeva Ju.N. Ballastirovanie kolesnyh traktorov na obrabotke pochvy // Vestn. KrasGAU. – 2015. – № 5. – S. 77–81.
5. Selivanov N.I., Makeeva Ju.N. Udel'naja materialoemkost' kolesnyh traktorov pri ballastirovanii dlja tehnologij pochvoobrabotki // Vestn. KrasGAU. – 2015. – № 10. – S. 65–70.
6. Selivanov N.I., Zaprudskij V.N., Makeeva Ju.N. Udel'naja materialoemkost' kolesnyh traktorov // Vestnik KrasGAU. – 2015. – № 2. – S. 56–63.
7. Selivanov N.I. Tehnologicheskie svojstva moshhnyh traktorov / Krasnojarsk. gos. agrar. un-t. – Krasnojarsk, 2015. – 202 s.