

Из рисунка 2, б видно, что угловая скорость вращения стрелы в начале движения достигает локального максимума, затем происходит плавное незначительное уменьшение до локального минимума, после которого происходит дальнейшее плавное увеличение до конца подъема стрелы. С понижением температуры рабочей жидкости величина локального максимума уменьшается, а время достижения этого максимума увеличивается.

На рисунке 2, г показано, что угловая скорость вращения поворотного основания в начале движения резко увеличивается, далее плавно возрастает до максимального значения в конце поворота основания. Понижение температуры рабочей жидкости не оказывает большого влияния на величину угловой скорости поворотного основания.

**Заключение.** Результаты расчетов показывают, что наибольшее влияние температуры рабочей жидкости проявляется в начальный период движения стрелы. Влияние температуры рабочей жидкости на движение поворотного основания сказывается в меньшей степени, что обусловлено наличием большого местного сопротивления в виде дросселя.

### Литература

1. Кондрашов П.М., Мельников В.Г. Нетрадиционный метод автоматизации поочерёдного включения исполнительных механизмов // Вестн. Краснояр. гос. техн. ун-та. – 2000. – № 18. – С. 16–20.
2. Щеглов Е.М. Снижение динамических нагрузок в гидроприводе лесопогрузчика: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Красноярск, 2001. – 24 с.
3. Абрамов В.В. Повышение работоспособности гидрофицированных самоходных машин дегазацией рабочей жидкости: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Красноярск, 2000. – 23 с.
4. Васильченко В.А. Гидравлическое оборудование мобильных машин: справочник. – М.: Машиностроение, 1983. – 301 с.
5. Теория механизмов и механика машин: учеб. для вузов/ К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов [и др.]; под ред. К.В. Фролова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1998. – 496 с.
6. Мандраков Е.А., Никитин А.А. Динамика гидросистем: монография. – М.: ИНФРА-М; Красноярск: СФУ, 2014. – 128 с.



УДК 629.114.2

Н.И. Селиванов, И.А. Селиванов, Э.Г. Шрайнер

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОТРЕБНОСТЬ В ВЫСОКОМОЩНЫХ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРАХ

Обоснованы рациональные интервалы показателей технологичности колёсных 4К4б тракторов для операционных технологий основной обработки почвы. Определена технологическая потребность и показана фактическая обеспеченность высокомощными тракторами АПК Красноярского края.

**Ключевые слова:** высокомощные тракторы, показатели технологичности, нормативы потребности, фактический состав парка.

N.I. Selivanov, I.A. Selivanov, E.G. Shreiner

### THE TECHNOLOGICAL NEED IN THE POWERFUL WHEELED TRACTORS

The rational intervals of the manufacturability indicators of 4K4b wheeled tractors for the operational technologies of the main soil processing are substantiated. The technological need is determined and the actual provision of the Krasnoyarsk Territory AIC with powerful tractors is shown.

**Key words:** powerful tractors, manufacturability indicators, need standards, parkactual composition.

**Введение.** Меньшие затраты мощности и топлива при наивысшей производительности с конечной оценкой себестоимости продукции являются главными критериями технического обеспечения операционных технологий обработки почвы. Поэтому внедрение ресурсосберегающих технологий почвообработки в АПК Восточной Сибири ориентировано на использование широкозахватных почвообрабатывающих и посевных комплексов с высокомощными (свыше 205 кВт (280 л.с.)) отечественными и зарубежными тракторами колесной формулы 4К4б, которые относят к 6–8 тяговым классам по ГОСТ 27021-86 и IV категории по стандарту

ИСО. Максимальная операционная масса этих тракторов ведущих зарубежных фирм, представленных на рынке Российской Федерации (Case, NewHolland, JohnDeere, Buhler) со сдвоенными колесами и балластом, превышает 25,0 т при энергонасыщенности Э=16-18 Вт/кг. Эксплуатационная мощность их двигателей достигает 496 кВт (675 л.с.) при запасе крутящего момента 35–50 %.

Данные параметры обусловлены мировым опытом развития тракторной энергетики, которое в условиях конкуренции идет в направлении улучшения её потребительских свойств. При этом в тракторостроении наблюдаются три основных тенденции [1]:

- 1) основным типом сельскохозяйственных тракторов остаются колесные, объём производства которых значительно больше, чем гусеничных;
- 2) крупносерийное производство ведущими тракторостроительными фирмами унифицированных семейств (типоразмеров) тракторов с колёсной формулой 4К4а и 4К4б и с изменяющимися в широком диапазоне мощностью двигателя и эксплуатационной массой;
- 3) постоянный рост мощности тракторных двигателей.

В отношении наблюдающейся тенденции повышения мощности и массы тракторов у зарубежных и отечественных специалистов есть [1] разные мнения. Одни считают, что если мощная техника приносит более высокие доходы, то она будет приобретаться предпринимателями. Формирование этого мнения определяют факторы увеличивающегося дефицита высококвалифицированных трактористов-механизаторов и рост затрат на оплату их труда, а также стремление крупных сельскохозяйственных предприятий к повышению производительности и экономической эффективности ведения производства. Однако количество таких приобретений незначительное, и в большинстве своем высокомощные тракторы будут изготавливаться небольшими партиями или штучно, возможно на заказ.

Другие считают, что наиболее ограничивающими факторами являются надежность и наличие фирменного сервисного обслуживания. Простои, связанные с неисправностью такой сложной и крупногабаритной техники в сезон полевых работ, чреваты невыполнением технологических операций в оптимальные сроки и, следовательно, могут привести к недобору или полной потере урожая. Поломки могут быть более затратны для ремонта и обслуживания.

Мнения большинства специалистов в отношении использования мощной техники сводятся к экономической проблеме, определяемой возрастанием её стоимости и затратами на обслуживание и ремонт.

Соглашаясь с аргументированностью указанных выше мнений, необходимо отметить, что эффективность высокомощных тракторов в эксплуатации определяется также адаптированностью к природно-производственным условиям и возможностью комплектования с рабочими машинами-орудиями, соответствующими их тягово-мощностным параметрам. В противном случае, не обеспечивается оптимальная загрузка двигателя, что увеличивает в первую очередь погектарный расход топлива и соответственно удельные эксплуатационные затраты по сравнению с тракторами меньшей мощности [2].

Для повышения эффективности использования высокомощных тракторов необходимо установить их рациональные массоэнергетические параметры при выполнении разных групп родственных операций основной обработки почвы и определить нормативную потребность в отдельных агротехнических зонах и регионах страны.

**Цель исследований.** Обоснование рациональных значений показателей технологичности и нормативов потребности в высокомощных колесных тракторах для агротехнической зоны 6.2 Сибирского федерального округа (СФО) и АПК Красноярского края.

**Задачи исследований:**

- 1) обосновать рациональные соотношения эксплуатационных параметров колесных 4К4б тракторов для отдельных групп родственных операций основной обработки почвы;
- 2) определить нормативную потребность в высокомощных колесных тракторах для зоны 6.2 с учетом внедрения ресурсосберегающих технологий почвообработки;
- 3) дать оценку количественного и качественного состава парка высокомощных колесных тракторов в АПК Красноярского края для прогнозирования их технологической потребности на перспективу.

**Материалы и методы исследований.** По энергоемкости, агротребованиям и техническому обеспечению операции основной обработки почвы разделены на три группы [2], которые характеризуют удельное тяговое сопротивление рабочих машин при скорости  $V_0=1,4$  м/с  $K_{oi}$ , приращение в зависимости от скорости  $\Delta K_i$ , коэффициент вариации  $v_{Koi}$ , рациональный по энергозатратам, производительности и агротребованиям, интервал рабочей скорости  $(V_{opt}^* - V_{max}^*)_i$  и её номинальное значение  $V_{Hi}$  (табл. 1).

В основу обоснования рациональных значений показателей технологичности трактора – удельного энергетического потенциала ( $\xi \frac{N}{m_3} \cdot \Theta$ )<sup>\*</sup> и удельной материалоемкости  $m_{y\delta}^* = 10^3 / (\xi \frac{N}{m_3} \cdot \Theta)$  – для каждой группы родственных операций положено его функционирование в интервале рабочей скорости  $V_{Hi} \pm \Delta V_i$  и тяговом диапазоне, соответствующем  $\varphi_{krop} \leq \varphi_{kph} \leq \bar{\varphi}_{kp}$  при  $\bar{\varphi}_{kp} = 0,5(\varphi_{krop} + \varphi_{krtmax})$ . При этом должно соблюдаться общее для всех типов энергомашин соотношение между основными параметрами-адаптерами [3]:

$$\Theta = \frac{N_{eq}}{m_3} = \frac{g * \varphi_{kp} * V}{\eta_T * \xi * N}. \quad (1)$$

Таблица 1

**Характеристика удельного сопротивления и интервалы рабочих скоростей почвообрабатывающих машин для разных групп родственных операций (технологий)**

Родственная операция (технология)	$\bar{K}_0$ , Н/м	$\Delta \bar{K}$ , $C^2/M^2$	$\bar{v}_{k0}$	$(V_{opt}^* - V_{max}^*)$ , м/с	$\bar{V}_H$ , м/с
<b>1-я группа</b> Отвальная вспашка ( $h=0,20-0,25$ м) и глубокое рыхление ( $h=0,40-0,50$ м)	11,0-14,0	0,15	0,10-0,12	1,90-2,20	2,20
<b>2-я группа</b> Безотвальная комбинированная обработка, дискование ( $h=0,14-0,18$ м) и чизелевание ( $h=0,20-0,30$ м)	4,7-6,5	0,10	0,07-0,10	2,10-2,84	2,45
<b>3-я группа</b> Поверхностная обработка ( $h=0,06-0,12$ м) и посев по нулевой технологии	3,1-5,1	0,06	0,07-0,10	2,83-3,83	3,30

Для оценки указанных показателей использованы результаты стендовых и лабораторно-полевых испытаний разных типоразмеров тракторов серии К-744Р [3, 4, 5], которые позволили установить оптимальные, соответствующие максимальному тяговому КПД  $\eta_{tmax}$  и допустимые по буксованию, значения коэффициента использования веса трактора на одинарных ( $\varphi_{krop1} = 0,37$ ,  $\varphi_{krtmax1} = 0,45$ ) и сдвоенных ( $\varphi_{krop2} = 0,35$ ,  $\varphi_{krtmax2} = 0,49$ ) колёсах. При этом получены уравнения взаимосвязи коэффициента использования мощности  $\xi \frac{N}{m_3}$  с коэффициентами приспособляемости двигателя по крутящему моменту  $K_M$  и вариации нагрузки  $v_{mc}$ , а также тягового КПД трактора  $\eta_m$  с КПД трансмиссии  $\eta_{mp}$ , коэффициентами  $\varphi_{kp}$  и сопротивлению перекатыванию  $f_0$  в виде

$$\xi \frac{N}{m_3} = -0,964 + 1,80K_M - 0,40K_M^2 + 0,023/v_{mc}; \quad (2)$$

$$\eta_m = \eta_{mp} \left\{ \varphi_{kp} / [\varphi_{kp} + f_0 + c \cdot (V - V_0)] \right\} \cdot \left[ 1 - \frac{a \cdot \varphi_{kp}}{b - \varphi_{kp}} \right]. \quad (3)$$

Нормативы потребности в высокомощных колесных тракторах рассчитывались с учетом реального тракторного рынка и превалирующего использования в регионах ресурсосберегающих (2-й и 3-й групп) операционных технологий основной обработки почвы.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Полученные по результатам моделирования с использованием формулы (1) значения показателей технологичности колесных 4К4б тракторов (табл. 2) имеют практически линейную зависимость от скорости рабочего хода из-за несущественного изменения тягового КПД в используемом скоростном интервале. В тяговом режиме, соответствующем  $\bar{\varphi}_{kp}$ , удельная материалоемкость трактора  $m_{y\delta}^*$  для каждой группы операций снижается до 10–12 % на одинарных и до 17 % на сдвоенных колесах, что характеризует более эффективное использование эксплуатационной массы. За счет повышения тягового КПД на сдвоенных колесах удельная материалоемкость трактора возрастает до 12–14 % на режиме  $\varphi_{kp}$  и до 19 % при  $\eta_{tmax}$ . Указанное обеспечивается соответствующим увеличением  $m_3^*$ , или

снижением  $(\xi \frac{N_{e\vartheta}}{N} \cdot N_{e\vartheta})^*$ . Приведенные значения  $(\xi \frac{N}{N} \cdot \mathcal{E})^*$  и  $m_{y\vartheta}^*$  характеризуют оптимальные соотношения эксплуатационной массы и мощности трактора на одинарных и сдвоенных колесах для разных групп родственных операций. Они используются для обоснования массоэнергетических параметров трактора на операциях основной обработки почвы.

Таблица 2

**Рациональные интервалы показателей технологичности колесных 4К4б тракторов для основных групп родственных операций почвообработки**

Группа родственных операций	$\bar{V}_H$ , м/с	Одинарные колеса $\varphi_{kp}=0,37-0,41$		Сдвоенные колеса $\varphi_{kp}=0,35-0,41$	
		$(\xi \frac{N}{N} \cdot \mathcal{E})^*$ , Вт/кг	$m_{y\vartheta}^*$ , кг/кВт (кг/л.с.)	$(\xi \frac{N}{N} \cdot \mathcal{E})^*$ , Вт/кг	$m_{y\vartheta}^*$ , кг/кВт (кг/л.с.)
1	2,20	12,68-14,05	78,86-71,70 (57,99-52,30)	10,64-12,46	93,98-80,26 (69,10-59,0)
2	2,45	14,12-15,90	70,82-62,89 (52,07-46,24)	11,93-13,90	83,82-71,94 (61,63-52,90)
3	3,30	19,32-21,40	51,76-46,73 (38,06-34,36)	16,28-19,00	61,42-52,63 (45,17-38,70)

В таблице 3 приведены нормативы потребности высокомощных тракторов в эталонных и физических единицах на 1000 га пашни для Восточной (6.2) агрозоны СФО [5]. В качестве эталонного принят гусеничный трактор ТЭ-100 мощностью 73,5 кВт (100 л.с.). С учетом регионального и федерального рынков высокомощных тракторов и тенденций формирования их парка в сельскохозяйственных предприятиях нормативы потребности пересчитаны для колесных машин, включая нормативную потребность в гусеничных тракторах.

Нормативная потребность составляет 0,66 эталонных и 0,285 физических тракторов на 1000 га пашни при среднем значении коэффициента перевода  $K_{пер}=n_{эт}/n_{физ}=2,316$ . При этом потребность в физических тракторах 6 кл., включающих три типоразмера с энергонасыщенностью  $\mathcal{E}$  от 13,16 до 23,56 Вт/кг, является превалирующей и достигает 90,9 % от общей при основной комплектации одинарными колесами. Тракторы указанных типоразмеров наиболее адаптированы к технологиям почвообработки следующих групп: 6.1 – 1-, 2-я группы, 6.2 – 2-я группа, 6.3 – 3-я группа.

По своим массоэнергетическим параметрам тракторы 8 кл. характеризуются комплектацией сдвоенными колесами, переменной балластировкой и наивысшей адаптированностью к операциям обработки почвы 2-й и 3-й групп.

Таблица 3

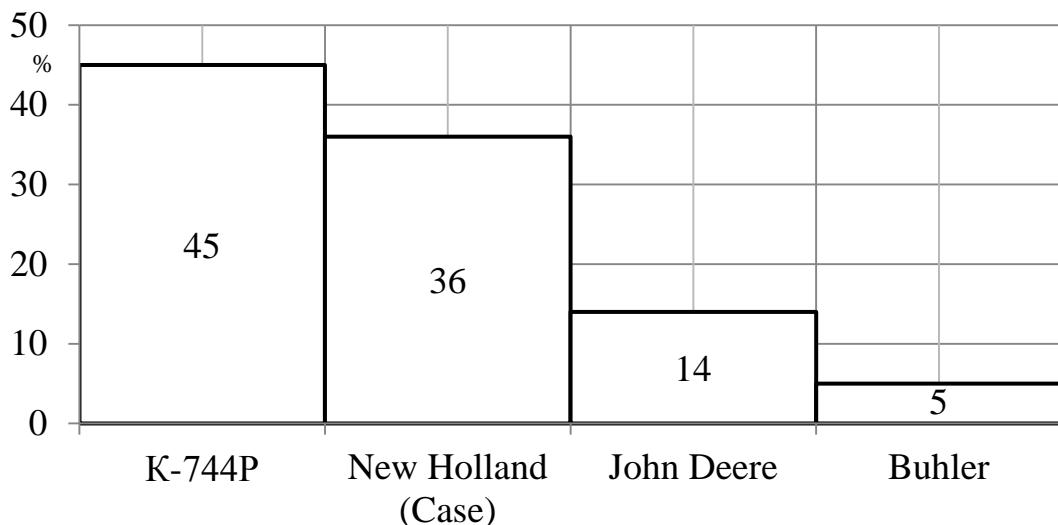
**Нормативы потребности на 1000 га пашни в эталонных и физических колесных тракторах 6–8 тяговых классов для зоны 6.2 СФО**

Тяговый класс	$n_{эт}/1000$ га, ед.	$K_{пер}=n_{эт}/n_{физ}$	$n_{физ}/1000$ га, ед.	$N_{e\vartheta}$ , кВт	$m_{\vartheta}$ , кг	$\mathcal{E}$ , Вт/кг
6.1	0,52	2,19	0,237	201-243	13580-18460	14,80-13,16
6.2	0,04	2,71	0,0148	244-320	13580-18460	17,97-17,33
6.3	0,02	3,10	0,0065	320-397	13580-18460	23,56-21,51
8	0,08	3,10	0,0258	320-397	18460-27690	17,33-14,34
Итого	0,66	2,316	0,285	-	-	-

По результатам анализа установлено, что на всю площадь пашни Восточной зоны СФО ( $6324 \cdot 10^3$  га) по существующим нормативам необходимо иметь свободными 1800 колесных тракторов 6 и 8 тяговых клас-

сов. Для АПК Красноярского края с площадью пашни  $1900 \cdot 10^3$  га нормативная потребность составляет 540 ед. в т.ч. 491 – 6 кл., 49 – 8 кл.

На 01.01.2014 г. сельское хозяйство Красноярского края располагало 237 высокомощными колесными тракторами 4К46. Среди них 107 ед. (45 %) отечественных тракторов серии К-744Р ЗАО «Петербургский тракторный завод», включающих 71 ед. К-744Р2, 23 ед. К-744Р1 и 130 ед. (55 %) иностранных тракторов ведущих зарубежных фирм (рис.).



Состав парка высокомощных колесных тракторов в АПК Красноярского края

Нормативная потребность АПК Красноярского края в тракторах 6–8 кл. составляет 1254 эталонных и 540 ед. физических. С учетом внедрения на 80 % площади пашни минимальной и нулевой зональных технологий почвообработки указанная потребность снижается на 40,0 % до 752 и 311 ед. соответственно (табл. 4).

Фактическое количество тракторов 6–8 кл. 237 ед. (626 эт.ф.) обеспечивает технологическую потребность на 50,0 и 83,2 % соответственно. При этом наблюдается особо низкая обеспеченность технологических операций 1-й и 2-й групп (23,3 и 47,3%) энергосредствами типоразмера 6.1, который формировался до недавнего времени исключительно за счет тракторов К-744Р1 и К-744Р2. В последнее время они заменяются зарубежными и отечественными тракторами улучшенной классической компоновки мощностью 200–240 кВт. В то же время имеются существенные излишки энергетических средств 8 кл. (48,9 %) и особенно типоразмера 6.3 (104 %), которые компенсируют недостаток тракторов типоразмера 6.1. Их наивысшая эффективность на операциях 1-й и 2-й групп достигается уменьшением цикловой подачи топлива для получения мощности  $N_{\text{еэ}} \approx 243$  кВт.

Таблица 4

Оценка количественного состояния парка высокомощных колесных тракторов в АПК Красноярского края

Тяговый класс	Технологическая потребность, ед.		Фактическое количество, ед.		Технологическая обеспеченность	
	$n_{\text{эт}}$	$n_{\text{физ}}$	$n_{\text{физ}}$	$n_{\text{этф}}$	$\pm n_{\text{эт}}, \text{ед}$	$n_{\text{этф}}/n_{\text{эт}}, \%$
6.1	988/486*	451/222*	105	230,0	-758/-256*	23,3/47,3*
6.2	76,0	28	34	92,2	+16,2	121,3
6.3	38,0	12	25	77,5	+39,5	204,0
8	152,0	49	73	226,3	+74,3	148,9
Всего	1254/752*	540/311*	237	626	-628/-126*	50,0/83,2*

\*С учетом фактических объемов внедрения минимальной и нулевой технологий почвообработки.

## Выводы

1. Обоснованные значения параметра оценки тягово-цепных свойств  $(0,35-0,37) \leq \varphi_{kph} \leq 0,41$  позволили установить рациональные интервалы показателей технологичности колесных 4К4б тракторов для основных групп родственных операций почвообработки на одинарных и сдвоенных колесах.

2. С учетом фактического и перспективного рынка нормативная потребность в колесных тракторах разных типоразмеров 6 и 8 кл., адаптированных к используемым технологиям почвообработки, для агрозоны 6.2 Сибирского федерального округа составляет 0,660 эт. и 0,285 физ. ед. на 1000 га пашни. При внедрении на 80 % площади пашни минимальной и нулевой технологий почвообработки указанная потребность снижается до 0,396 эт. и 0,164 физ. ед. тракторов.

3. Фактический состав парка высокомощных колесных тракторов в АПК Красноярского края включает 107 ед. (45 %) отечественных серий К-744Р и 130 ед. (55 %) зарубежных. Обеспеченность технологической потребности составляет 50,0 % для установленных и 82,3 % для скорректированных нормативов.

4. Полученные результаты позволили определить следующие приоритеты формирования и использования парка высокомощных тракторов в АПК Красноярского края на перспективу до 2020 г.:

- типоразмер 6.1 для операций первой группы ( $m_{y\theta}^*=71,7-78,8$  кг/кВт) – отечественные колесные тракторы 4К4б К-744Р1 и К-744Р2, а также улучшенной классической компоновки 4К4а (TERRION ATM-7360, Беларус 3022/3522) и зарубежные (New Holland серии Т.8, John Deere серии 8030, Case 1H серии MX Magnum, Class AXION);

- типоразмеры 6.2, 6.3 и 8.0 для операций второй ( $m_{y\theta}^*=62,9-70,8$  кг/кВт) и третьей ( $m_{y\theta}^*=46,8-51,8$  кг/кВт) групп – отечественные колесные тракторы 4К4б (К-744Р2М, Р3, Р3М, К-9000) и зарубежные (New Holland серии Т.9, Case STX, John Deere серии 9030). На сдвоенных колёсах показатель  $m_{y\theta 2}^*$  должен составлять для операций 1–2-й и 3-й групп соответственно 71,9–83,8 и 52,6–61,4 кг/кВт.

## Литература

1. Гурылев Г.С., Князев Д.А. Мощные тракторы в сельском хозяйстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2012. – № 2. – С. 23–27.
2. Селиванов Н.И., Запрудский В.Н. Энергетический потенциал колесных 4К4б тракторов общего назначения // Вестн. КрасГАУ. – 2012. – № 6. – С. 129–135.
3. Селиванов Н.И. Эффективное использование энергонасыщенных тракторов. – Красноярск, 2008. – 228 с.
4. Селиванов Н.И., Запрудский В.Н. Показатели динамических и тягово-цепных свойств тракторов «Кировец» серии К-744Р // Вестн. КрасГАУ. – 2012 – № 5. – С. 297–305.
5. Методика использования условных коэффициентов перевода тракторов, зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов в эталонные единицы при определении нормативов их потребности / А.Ю. Измайлова [и др.]. – М., 2009. – 54 с.

