

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАКТОРА VERSATILE 2375
В ТЕХНОЛОГИЯХ ПОЧВООБРАБОТКИ

N.I. Selivanov, D.A. Sedakov

RATIONAL USE OF VERSATILE 2375 TRACTOR ON THE MAIN SOIL TILLAGE

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

Седаков Д.А. – магистрант, учебный мастер каф. тракторов и автомобилей Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: 20.D_S.10@mail.ru

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

Sedakov D.A. – Magistrate Student, Training Master, Chair of Tractors and Cars, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: 20.D_S.10@mail.ru

Цель исследования – обоснование рациональных тяговых режимов и параметров трактора Versatile 2375 для зональных технологий почвообработки. Проведен анализ состояния российского и регионального рынков сельскохозяйственных тракторов высокой мощности, основу которых составляют модельные ряды мобильных энергосредств колесной формулы 4к4б отечественного производства. В структуре обновления тракторного парка сельских товаропроизводителей Красноярского края тракторы серии К-744Р ЗАО «Петербургский тракторный завод» и Versatile 2375 ООО «Ростсельмаш» составили 35 и 7 % соответственно. Для повышения эффективности использования трактора Versatile 2375 в технологиях почвообработки разработаны модели и алгоритм поэтапной оптимизации массоэнергетических параметров с учетом установленных конструктивных особенностей и ограничений на тягово-скоростные режимы работы. По результатам моделирования и эксперимента обоснованы рациональные режимы и параметры трактора для операций почвообработки разных групп. Рациональному тягово-скоростному диапазону, ограниченному буксованием двигателя 0,081–0,121 и значениями номинальной скорости 3,30–2,20 м/с, соответствуют значения интервала регулирования эксплуатационной массы от $m_{эmin} = 14,82$ т до $m_{эmax} = 17,85$ т с распределением на переднюю ось 56,8–58,1 %, что позволяет использовать трактор на операциях почвообработки второй и третьей групп в шестом, а на операциях первой группы в восьмом тяговом классе. При минимальной эксплуатационной массе трактора базовой комплектации $m_{э0} = 12,42$ т с абсциссой центра масс $A_{ц0} = 0,65$ м потребную массу балласта от 2,4 до 5,3 т обеспечивает установка промежуточного, основного и дополнительного задних грузов, регу-

лирование массы переднего груза от 0,13 до 1,30 т с добавлением в шины задних колес воды по 0,28 т на операциях первой группы. По чистой производительности на операциях второй и третьей группы трактор следует использовать при длине гона 600–1000 м.

Ключевые слова: алгоритм, балластирование, обработка почвы, производительность, трактор, удельная масса.

The goal of the work is to substantiate rational traction modes and parameters of Versatile 2375 tractor for zonal tillage technologies. The analysis of the state of the Russian and regional markets for high-capacity agricultural tractors, made on the model series of mobile power tools of 4k4b wheel formula of domestic production is carried out. In the structure of the renewal of the tractor fleet of rural commodity producers in the Krasnoyarsk Territory, the K-744R tractors of the Petersburg Tractor Plant CJSC and Versatile 2375 Rostselmash LLC amounted to 35 and 7 %, respectively. The Models and algorithm of stage-by-stage optimization of mass energetic parameters taking into account established constructional features and restrictions on traction and high-speed operating modes are developed for increase of efficiency of use of Versatile 2375 tractor in technologies of tillage. According to the results of simulation and experiment, optimal values of the specific gravity of the tractor for tillage operations of different groups were substantiated. To a rational traction-speed range limited by the thrust of the thruster 0.081–0.121 and the nominal speed of 3.30–2.20 m/s, corresponds to the values of the regulation of the operating mass from $m_{эmin} = 14.82$ t to $m_{эmax} = 17.85$ t with distribution on the front axle 56.8–58.1 %, which makes it possible to use the tractor on the tillage operations of the second and third groups in the sixth, and on the operations of the first group in the eighth traction classes. With a mini-

imum operating mass of the tractor of the basic configuration $m_{e0} = 12.42$ t with the abscissa of the center of mass $A_{t50} = 0.65$ m, the required mass of ballast from 2.4 to 5.3 t provides for the installation of intermediate, main and additional rear loads, regulation of the mass of the front load from 0.13 up to 1.30t with the addition of water at the rear wheels of 0.28 t for the operations of the first group. According to the net performance in the operations of the second and third groups, the tractor should be used with a root length of 600–1000 m.

Keywords: algorithm, ballasting, tillage, productivity, tractor, specific gravity.

Введение. Российский рынок сельскохозяйственных тракторов в последнее время приобрел достаточно устойчивый характер, что обусловлено широким внедрением зональных ресурсосберегающих технологий почвообработки. В сегменте продаж на колесные 4к4б тракторы общего назначения мощностью 240–320 кВт приходится около 18,5 %, основную часть которых составляет продукция ЗАО «Петербургский тракторный завод» (модельный ряд тракторов K-744P) и ООО «Ростсельмаш» (Versatile-2375). В структуре обновления тракторного парка сельских товаропроизводителей Красноярского края их доля в натуральном исчислении достигла 35,0 и 7,0 % соответственно [1].

Главным условием эффективного использования колесных тракторов в зональных технологиях почвообработки является соответствие эксплуатационных параметров и режимов рабочего хода требованиям ресурсосбережения. К основным параметрам-адаптерам трактора относятся значение эксплуатационной мощности Ne_3 , величина и распределение по осям массы m_3 в статике, устанавливаемые до начала технологического процесса [1], тягово-скоростные режимы, управляемые в процессе рабочего хода.

Неоднозначность рекомендаций в инструкции по эксплуатации, а также ограниченный опыт использования в зональных технологиях почвообработки не позволяют установить рациональные значения указанных параметров-адаптеров трактора Versatile 2375 для разных по энергоемкости операций почвообработки. Поэтому актуальным является адаптация режимов работы и параметров этого трактора к операционным технологиям обработки почвы.

Цель исследования: обоснование рациональных тяговых режимов и параметров трактора Versatile 2375 для зональных технологий почвообработки.

Поставленная цель достигалась решением следующих задач:

- 1) установить рациональный тяговый диапазон использования трактора;
- 2) определить интервалы регулирования и распределение по осям эксплуатационной массы

трактора для основных групп родственных операций почвообработки разных групп;

3) дать оценку эффективности использования трактора в зональных технологиях почвообработки.

Условия и методы исследования. Решение поставленных задач проводилось с учетом параметров трактора Versatile 2375 базовой комплектации, а также установленных ранее допущений и ограничений на тягово-скоростные режимы его использования [2–3]:

1) базовая комплектация трактора с шестицилиндровым рядным двигателем Qummins QSM-11 эксплуатационной мощностью $Ne_3 = 240$ кВт по ГОСТ 18509-88 [4] при $n_H = 2100$ мин⁻¹ и коэффициентом приспособляемости по моменту $K_M = 1,49$ включает механическую трансмиссию, сдвоенные колеса 710/70R38, стандартный тяговый брус. Имеет массу 11 690 кг без топлива в баке, оператора, дополнительного оборудования и балласта (твердого и жидкого) с распределением 65–67 % на переднюю ось и на 33–35 % на заднюю;

2) рациональный тяговый диапазон трактора ограничен значениями коэффициента использования веса, $\varphi_{KPMin} - \varphi_{KPMax}$, которым соответствуют режим минимального $\delta_{min} = 0,07$ и максимального допустимого $\delta_{max} = 0,15$ буксования;

3) для наиболее энергоемких операций почвообработки первой группы (отвальная вспашка и глубокое рыхление) и наименее энергоемких операций третьей группы (поверхностная обработка почвы) номинальные значения $\varphi_{KPH1} < \varphi_{KPMax}$ и $\varphi_{KPH3} > \varphi_{KPMin}$ устанавливаются при вероятности нахождения эксплуатационных допусков на тяговую нагрузку в пределах ($\varphi_{KPMin} - \varphi_{KPMax}$) не менее 0,88–0,90. Для операций второй группы (безотвальная комбинированная обработка и чизелевание) $\varphi_{KPH2} = 0,5 \cdot (\varphi_{KPH1} + \varphi_{KPH3})$;

4) по требованиям изготовителя оптимальное значение эксплуатационной массы трактора базовой комплектации, с учетом ГОСТ 18509-88, определяется из условия $m_3^* = 43,1 \cdot 1,36 \cdot 1,15 \cdot Ne_3 = 67,41 \cdot Ne_3$ (кг) при распределении по осям в статике: с прицепными рабочими машинами 55 % на переднюю и 45 % на заднюю; с навесными машинами 65 и 35 % соответственно, что обеспечивает их одинаковую нагрузку 50 на 50 % в режиме рабочего хода.

При продольной базе трактора $L = 3,35$ м установка переднего балласта массой $m_{БП} = 0 - 1300$ кг и $A_{П} = a_{П}/L = 0,71$ обеспечивает догрузку передней оси $\Delta U_{ПСТ} = 1,71 \cdot (m_{БП} \cdot g)$ и разгрузку задней $\Delta U_{КСТ} = -0,71 \cdot (m_{БП} \cdot g)$ (рис. 1). Увеличение массы (веса) трактора равно массе (весу) балласта. Установка промежуточного заднего балласта

$m_{БК} = 0 - 1100$ кг при $A_K = a_K/L = 0,16$ увеличивает общий вес с распределением дополнительной нагрузки по осям $\Delta Y_{КСТ} = 0,84 \cdot (m_{БК} \cdot g)$, $\Delta Y_{ПСТ} = 0,16 \cdot (m_{БК} \cdot g)$. Распределение веса топлива в баке G_T по осям определяется соотношением $\Delta Y_{ПСТ}/\Delta Y_{КСТ} = (0,58/0,42) \cdot G_T$.

Поставляемый потребителям трактор базовой комплектации оснащен тяговым брусом для прицепных машин с установленными передним ($m_{БП} = 850$ кг) и промежуточным задним ($m_{БК} = 1100$ кг) балластами.

Задний нижний балласт $m'_{БК} = m_{БК}$ является основным для увеличения и рационального распределения массы (веса) трактора между мостами. Этот

балласт не может быть установлен при работе с трехточечной навеской или с валом отбора мощности. Его воздействие на реакции задних и передних колес определяется из условий: $\Delta Y_{КСТ} = 1,16 \times (m'_{БК} \cdot g)$, $\Delta Y_{ПСТ} = -0,18 \cdot (m'_{БК} \cdot g)$.

Задний вспомогательный балласт $m''_{БК} = 0 - 738$ кг является дополнительным для увеличения и сбалансированного распределения массы (веса) трактора между мостами. Может быть установлен только при работе с ВОМ и прицепными машинами. Его воздействие на реакции задних и передних колес определяется из условия: $\Delta Y_{КСТ} = 1,16 \times (m''_{БК} \cdot g)$, $\Delta Y_{ПСТ} = -0,16 \cdot (m''_{БК} \cdot g)$.

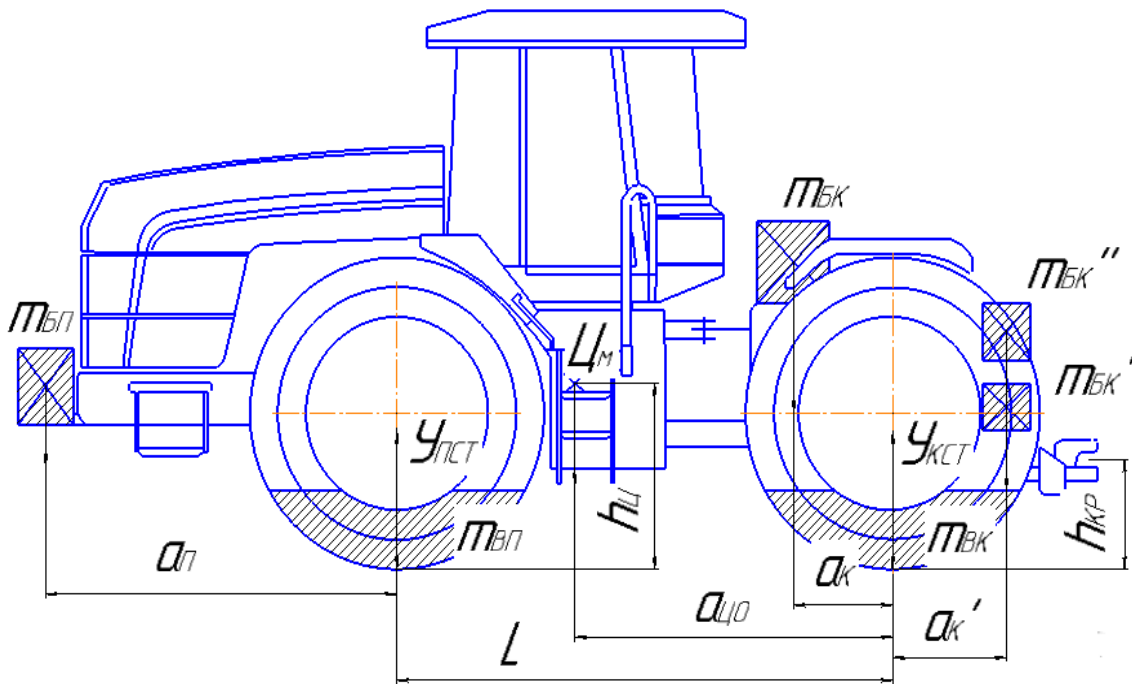


Рис. 1. Схема балластирования трактора Versatile 2375

Оснащение трактора трех основных опций дополнительным оборудованием оказывает влияние на общий вес и нагрузку осей: ВОМ ($m_B = 454$ кг) $\Delta Y_{КСТ} = 1,09 \cdot (m_B \cdot g)$, $\Delta Y_{ПСТ} = -0,90 \times (m_B \cdot g)$; 3 точечная навеска ($m_H = 714$ кг) $\Delta Y_{КСТ} = 1,18 \cdot (m_H \cdot g)$, $\Delta Y_{ПСТ} = -0,18 \times (m_H \cdot g)$; быстрая сцепка ($m_C = 181$ кг) $\Delta Y_{КСТ} = 1,40 \cdot (m_C \cdot g)$, $\Delta Y_{ПСТ} = -0,40 \times (m_C \cdot g)$.

Равномерно распределенный по колесам жидкий $m_{БП}$ и $m_{БК}$ балласт добавляют как дополнительный, что позволяет снизить давление воздуха в диагональных шинах до 83 кПа без значительного сокращения срока службы. Максимальный уровень за-

полнения не должен превышать 78 % объема шины [3].

Результаты исследования и их обсуждение. В таблице 1 приведены осредненные характеристики удельного сопротивления ($\bar{K}_0, \Delta K_0, v_{к0}$), установленные по критериям ресурсосбережения номинальные значения и интервалы рабочих скоростей ($V_H \pm \Delta V$)* почвообрабатывающих машин и агрегатов для родственных операций каждой из трех групп технологий с фактическим соотношением (F_1, F_2, F_3) их площадей [1]. Указанные параметры положены в основу определения рациональных тяговых режимов и интервалов регулирования эксплуатационной массы трактора при изменении номинальных значений рабочей скорости от $V_{Н1}^* = 2,2$ м/с до $V_{Н3}^* = 3,30$ м/с [5].

Характеристики удельного сопротивления и рабочие скорости почвообрабатывающих агрегатов для родственных операций разных групп

Технологии и родственные операции	F , %	\bar{K}_0 , кН/м	$\overline{\Delta K}_0$, c^2/m^2	$v_{к0}$	$V_H^* \pm \Delta V$, м/с
Традиционная, отвальная вспашка ($h = 0,20-0,25$ м) и глубокое рыхление ($h = 0,40-0,50$ м)	15	13,0	0,13	0,10-0,12	$2,20 \pm 0,20$
Минимальная, безотвальная комбинированная обработка, дискование ($h = 0,14-0,18$ м) и чизелевание ($h = 0,20-0,30$ м)	30	5,5	0,09	0,07-0,10	$2,70 \pm 0,30$
Минимальная и нулевая, поверхностная обработка ($h = 0,06-0,12$ м) и посев по нулевой технологии	55	4,5	0,06	0,07-0,10	$3,30 \pm 0,30$

Алгоритм оптимизации основных параметров адаптеров трактора содержит обоснованные этапы и соответствующие модели.

На первом этапе выполнена оценка тягово-сцепных свойств трактора с определением зависимостей буксования и тягового КПД $\delta, \eta_T = f(\varphi_{кр})$ в

диапазоне, соответствующем буксованию двигателя от 0,05 до 0,20 (рис. 2). Это позволило установить номинальные значения $\varphi_{крн}^*$ и $\eta_{ТН}^*$ для операций почвообработки разных групп (табл. 2).

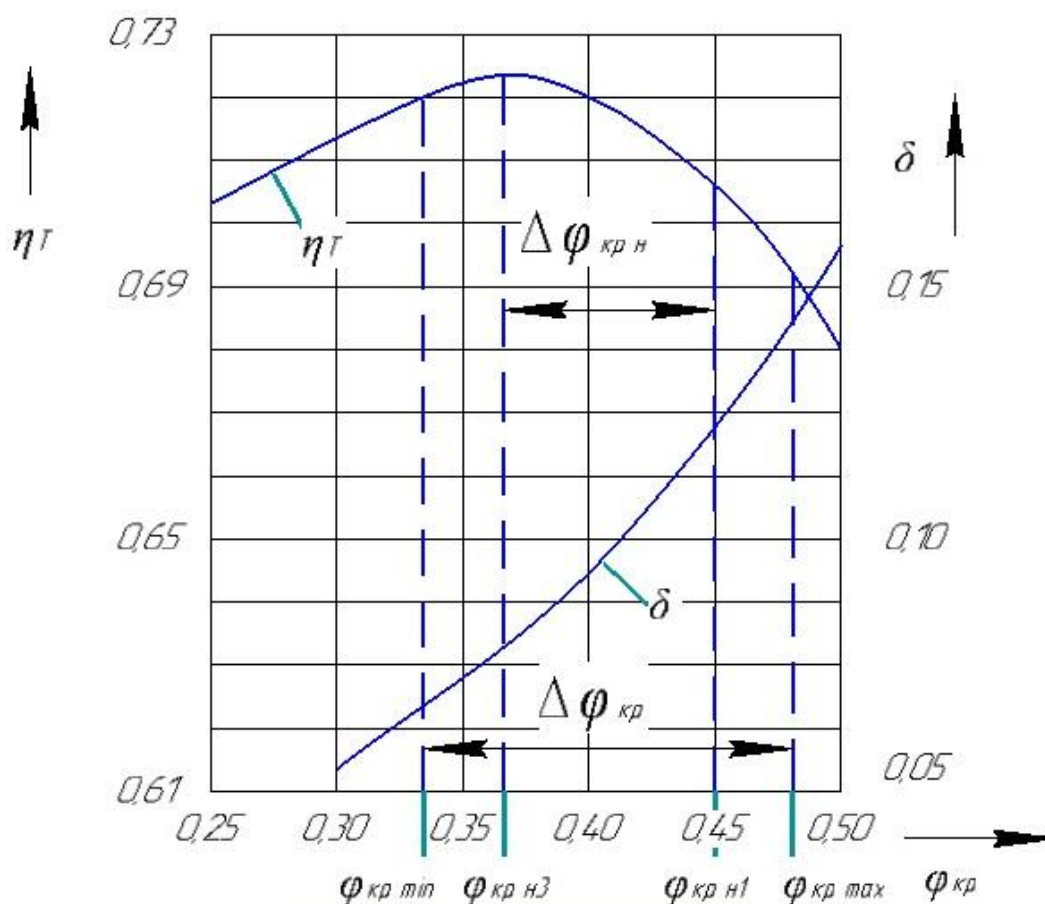


Рис. 2. Зависимости буксования и тягового КПД трактора от коэффициента использования веса

Рациональные тягово-скоростные режимы и удельная масса трактора для операций основной обработки почвы

Группа операций	$V_H, \text{ м/с}$	$\varphi_{\text{КРН}}^*$	δ	$\eta_{\text{ТН}}$	$m_{\text{удн}}^*, \text{ кг/кВт}$
1	2,20	0,45	0,122	0,708	72,90
2	2,70	0,41	0,099	0,719	66,23
3	3,30	0,37	0,081	0,725	60,57

Второй этап включал определение оптимальных значений удельной $m_{\text{уд}i}^*$ (кг/кВт) эксплуатационной $m_{\text{э}i}^*$ (кг) массы трактора и номинального тягового усилия $P_{\text{КРН}i}^*$ (кН) для каждой технологии почвообработки с использованием зависимостей [1].

$$m_{\text{уд}}^* = \frac{\eta_{\text{ТН}} \cdot 10^3}{g \cdot V_H^* \cdot \varphi_{\text{КРН}}}; \quad (1)$$

$$m_{\text{э}}^* = \xi_N^* \cdot N_{e\text{э}} \cdot m_{\text{уд}}^*; \quad (2)$$

$$\xi_N^* = 0,755 + 0,550 \cdot (K_M - 1); \quad (3)$$

$$P_{\text{КРН}}^* = m_{\text{э}}^* \cdot g \cdot \varphi_{\text{КРН}}. \quad (4)$$

Для оптимального распределения массы трактора по осям в режиме рабочего хода относительную абсциссу центра масс $A_{\text{Ц}i} = a_{\text{Ц}i} / L$ на операциях почвообработки разных групп определяли из условия

$$A_{\text{Ц}} = (\lambda_{\text{ПР}} \cdot L + h_{\text{КР}} \cdot \varphi_{\text{КР}} + f \cdot r_{\text{Д}}) / L, \quad (5)$$

где $h_{\text{КР}}$ – ордината точки прицепа; f – коэффициент сопротивления качению; $r_{\text{Д}}$ – динамический радиус колеса.

Полную массу съемного балласта $m_{\text{Б}i}^*$, а также переднего $m_{\text{БП}i}^*$ груза для каждой группы операций устанавливали при известных значениях $m_{\text{э}0}$ и $A_{\text{Ц}0}$ трактора базовой комплектации:

$$\begin{cases} m_{\text{Б}i}^* = m_{\text{э}i}^* - m_{\text{э}0}; \\ m_{\text{БП}i}^* = m_{\text{э}i}^* - m_{\text{Б}i}^* - (m_{\text{БК}} + m_{\text{БК}}' + m_{\text{БК}}'') \max. \end{cases} \quad (6)$$

Чистую производительность W_i ($\text{м}^2/\text{с}$) и удельные энергетические затраты $E_{\text{П}i}$ ($\text{кДж}/\text{м}^2$), а также рабочую ширину захвата агрегата $B_{\text{P}i}$ (м) для каждой технологии почвообработки оценивали на третьем этапе по формулам [1]

$$\begin{cases} W = \xi_N \cdot N_e \cdot \eta_{\text{ТН}} / (K_0 \cdot \mu_K); \\ E_{\text{П}} = \xi_N \cdot N_e / W; \\ B_{\text{P}} = \xi_N \cdot N_e \cdot \eta_{\text{ТН}} / (K_0 \cdot \mu_K \cdot V_H^*), \end{cases} \quad (7)$$

где $\mu_K = [1 + \Delta K (V_H^2 - 1,96)]$.

В таблице 3 представлены значения эксплуатационной массы $m_{\text{э}}$ и номинального тягового усилия $P_{\text{КРН}}$ для операций почвообработки разных групп при $\xi_N^* = 1,02$. Максимальное увеличение массы от $m_{\text{э}3}^* = 14,82 \text{ т}$ до $m_{\text{э}1}^* = 17,85 \text{ т}$ переводит трактор из шестого в восьмой тяговый класс с незначительным возрастанием абсциссы центра массы $A_{\text{Ц}}$. При $m_{\text{э}0} = 12,42 \text{ т}$ и $A_{\text{Ц}} = 0,65$ (без балласта) полная масса балласта возрастает от $2,40 \text{ т}$ ($m_{\text{э}3}^*$) до $5,43 \text{ т}$ ($m_{\text{э}1}^*$). Для оптимального распределения общей массы (веса) трактора по осям на всех операциях почвообработки с прицепными машинами необходимо установить $m_{\text{БКmax}} = 1100 \text{ кг}$ и $m_{\text{БКmax}}' = 1100 \text{ кг}$. Задний вспомогательный груз $m_{\text{БК}}'' = 738 \text{ кг}$ необходим только на операциях первой и второй групп. Для увеличения нагрузки на передней мост и общей массы (веса) трактора оптимальное значение $m_{\text{БП}}$ изменяется от 130 (3 гр.) до 1 300 кг (1 гр.)

Таблица 3

Эксплуатационные параметры трактора Versatile 2375 базовой комплектации для разных групп операций почвообработки

Группа операций	$m_{\text{э}i}, \text{ т}$	$P_{\text{КРН}}, \text{ кН}$	$A_{\text{Ц}i}, \text{ м}$	$m_{\text{Б}}^*, \text{ т}$	$m_{\text{БП}}^*, \text{ т}$	$m_{\text{БК}}'', \text{ т}$	$m_{\text{БК}}, \text{ т}$	$W, \text{ м}^2/\text{с}$	$E_{\text{П}}, \text{ кДж}/\text{м}^2$	$B_{\text{P}}, \text{ м}$
1	17,85	78,8	0,581	5,43	1,30	0,738	1,19	9,69	25,26	4,4
2	16,21	65,2	0,575	3,79	0,85	0,738	0	21,61	11,32	7,84
3	14,82	54,0	0,568	2,42	0,13	0	0	26,25	9,32	7,95

Максимальная величина $m_{\Sigma 1}^* = 17,85$ т на операциях первой группы может быть достигнута только с использованием жидкого балласта $m_{БК} = 1190$ кг, т. е. по 280 кг на одно заднее колесо. Замену жидкого балласта обеспечивает установка прицепа рабочей машины (силы тяги) под углом 10–12 градусов к поверхности поля.

По чистой производительности и удельным энергозатратам на операциях второй и третьей групп трактор наиболее эффективен в шестом классе длины гона при $\ell_{\Gamma} = 600\text{--}1000$ м.

Выводы

1. Рациональный диапазон тяговых усилий трактора на стерне колосовых нормальной влажности, соответствующий тяговому КПД $\eta_{\Gamma} = (0,977 - 1,00) \eta_{\Gamma max}$ ограничен $\varphi_{КРНЗ} = 0,37$ при $\delta_{НЗ} = 0,081$ для операций третьей группы с $V_{НЗ} = 3,30$ м/с и $\varphi_{КРН1} = 0,45$ при $\delta_{Н1} = 0,122$ для первой группы операций с $V_{Н1}^* = 2,20$ м/с.

2. Оптимальным значениям удельной массы $m_{удЗ}^* = 60,57$ кг/кВт и $m_{уд}^* = 72,90$ кг/кВт соответствует интервал регулирования эксплуатационной массы от $m_{\Sigma min} = m_{\Sigma 3}^* = 14,82$ т до $m_{\Sigma max} = m_{\Sigma 1}^* = 17,85$ т при $\bar{m}_{\Sigma} = m_{\Sigma 2}^* = 16,21$ т с распределением 56,8 и 58,1 % на переднюю ось, что позволяет использовать трактор в шестом восьмом тяговых классах.

3. При минимальной эксплуатационной массе трактора базовой комплектации $m_{\Sigma 0} = 12,42$ т и $A_{Ц0} = 0,65$ потребная масса балласта от 2,4 до 5,43 т обеспечивается установкой съёмных грузов $m_{БК} = 1100$ кг, $m'_{БК} = 1100$ кг, $m''_{БК} = 738$ кг (1 и 2 групп операций), регулированием $m_{БП}$ от 130 до 1300 кг и добавлением воды по 280 кг в шины колес (первая группа операций).

4. По показателям чистой производительности на операциях почвообработки второй и третьей групп трактор следует использовать при длине гона $\ell_{\Gamma} = 600\text{--}1000$.

Литература

1. Селиванов Н.И. Технологическая адаптация колесных тракторов / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2017. – 216 с.
2. Селиванов Н.И., Запрудский В.Н., Макеева Ю.Н. Моделирование скоростных режимов агрегатов и удельных показателей колесных тракторов на основной обработке почвы // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 1. – С. 81–88.
3. Тракторы «Versatile» серии 2000. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – М., 2016. – 376 с.
4. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний (с изменением № 1). – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 128 с.
5. Селиванов Н.И., Макеева Ю.Н. Удельная материалоемкость колесных тракторов при балластировании для технологий почвообработки // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 10. – С. 65–70.

Literatura

1. Selivanov N.I. Tehnologicheskaia adaptacija kolesnyh traktorov / Krasnojarsk. gos. agrar. un-t. – Krasnojarsk, 2017. – 216 s.
2. Selivanov N.I., Zaprudskij V.N., Makeeva Ju.N. Modelirovanie skorostnyh rezhimov agregatov i udel'nyh pokazatelej kolesnyh traktorov na osnovnoj obrabotke pochvy // Vestn. KrasGAU. – 2015. – № 1. – S. 81–88.
3. Traktory «Versatile» serii 2000. Tehniceskoe opisanie i instrukcija po jekspluatacii. – M., 2016. – 376 s.
4. GOST 18509-88. Dizeli traktornye i kombajnovye. Metody stendovyh ispytanij (s izmeneniem № 1). – M.: Izd-vo standartov, 1988. – 128 s.
5. Selivanov N.I., Makeeva Ju.N. Udel'naja materialoemkost' kolesnyh traktorov pri ballastirovanii dlja tehnologij pochvoobrabotki // Vestn. KrasGAU. – 2015. – № 10. – S. 65–70.