

УДК 631.3.004.67.

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ

Иовлев Г.А, кандидат экономических наук, доцент

E-mail: gri-iovlev@yandex.ru

Голдина И.И.

E-mail: ir.goldina@mail.ru

Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский государственный аграрный университет»
г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. В статье рассматривается использование балластных грузов в тракторах для улучшения их эксплуатационных свойств. Величина грузов должна соответствовать эксплуатационному весу трактора, выполняемой сельскохозяйственной операции, размещению и весу навесного оборудования. В исследовании представлены расчёты по изменению эксплуатационных свойств тракторов (производительности и расходу топлива) с различным сочетанием количества и размещения балластных грузов при выполнении технологической операции – культивации. Расчёты произведены на примере тракторов Deutz Fahr Agrofarm 410G [3] и John Deer 8235R с показателями энергонасыщенности соответственно $\Theta = 1,78$ кВт/кН и $\Theta = 1,6$ кВт/кН. Результаты расчетов представлены в таблицах и графиках. Предложены варианты догрузки, рассчитаны тяговые усилия в соответствии с вариантами догрузки. На основании расчётов производительности и влияния балластирования на производительность сделан вывод об оптимальном варианте догрузки.

Ключевые слова: балластный груз, балластирование, тракторы, энергонасыщенность, эксплуатационные свойства.

IMPROVING THE PERFORMANCE OF AGRICULTURAL TRACTORS

Iovlev G.A., candidate of economic sciences, associate professor

E-mail: gri-iovlev@yandex.ru

Goldina I.I.

E-mail: ir.goldina@mail.ru

Federal State Educational Institution of Higher Education
"Ural State Agrarian University", Ekaterinburg, Russia

Annotation. The article discusses the use of ballast weights in tractors to improve their performance. The size of the loads must correspond to the tractor operating weight, the performed agricultural operation, the location and weight of the attachment. The study presents calculations for changing the operational properties of tractors (productivity and fuel consumption) with the different combination of the



number and placement of ballast weights when performing the technological operation - cultivation. The calculations have been made on the example of tractors Deutz Fahr Agrofarm 410G [3] and John Deer 8235R with energy saturation indicators $E = 1.78 \text{ kW/kN}$ and $E = 1.6 \text{ kW/kN}$, respectively. The calculation results are presented in tables and graphs. The options for reloading are proposed, traction forces are calculated in accordance with the options for reloading. Based on the performance calculations and the effect of ballasting on performance, the conclusion about the optimal variant of reloading has been made.

Keywords: ballast weight, ballasting, tractors, concentration of energy, performance characteristics.

Появление трактора явилось мощнейшим толчком развития многих отраслей экономики, особенно сельского хозяйства. При помощи трактора были механизированы основные технологические операции по обработке почвы, такие как вспашка, поверхностная обработка; с появлением сельскохозяйственных машин для уборки сельскохозяйственных культур трактор стал использоваться как тяговое средство для уборочных машин. С появлением вала отбора мощности трактор стал использоваться для посева и посадки сельскохозяйственных культур, для привода активных рабочих органов почвообрабатывающих машин.

То есть трактор влиял на развитие экономики, экономика в свою очередь предъявляла всё более высокие требования к конструкции трактора, к его эксплуатационным свойствам. Так, появились резиновые шины взамен стальных, появился дизельный двигатель, многоступенчатая коробка перемены передач (КПП), затем КПП с бесступенчатым регулированием скорости движения (с гидрообъёмным и гидростатическим механизмами), передний ведущий мост. За этот период значительно изменился двигатель внутреннего сгорания – увеличилась мощность, снизился расход топлива, увеличился крутящий момент и запас крутящего момента при снижении массы двигателя [2, 4].

Если для транспортных работ мощный «лёгкий» двигатель удовлетворял потребности пользователей, то при проведении полевых работ, связанных с обработкой почвы, у трактора появилась не востребуемая мощность, которую



он не мог реализовать через тяговое усилие. На наш взгляд, наилучшим решением повышения тяговых свойств трактора является использование балластных грузов. Но величина грузов должна быть подобрана в соответствии с эксплуатационным весом трактора, с выполняемой сельскохозяйственной операцией, с размещением и весом сельскохозяйственной машины. В своём исследовании представим данные расчётов по изменению эксплуатационных свойств тракторов (производительности и расходу топлива) с различным сочетанием количества и размещения балластных грузов при выполнении технологической операции – культивации.

В мировом тракторостроении для повышения эксплуатационных свойств в 80-е годы прошлого столетия США одними из первых применили передний ведущий мост и балластные грузы на тракторе Allis-Chalmers 6070 [1, 3].

В своём исследовании рассмотрим возможности повышения эксплуатационных свойств у тракторов Deutz Fahr Agrofarm 410G [6] и John Deer 8235R с показателями энергонасыщенности соответственно $\Theta = 1,78$ кВт/кН и $\Theta = 1,6$ кВт/кН (рисунок 1, 2).



Рисунок 1 – Трактор Deutz Fahr Agrofarm 410G



Рисунок 2 – Трактор John Deer 8235R

Для балластирования трактора Deutz Fahr Agrofarm 410G можно использовать до 12 передних пластин весом 40 кг, до 4-х пластин по 40 кг на



каждое заднее колесо. Для трактора John Deer 8235R – стандартная передняя опора 170 кг, на переднюю опору до 20 грузов по 50 кг; подъёмный балласт 900 кг; задняя ось: колёсные грузы 2×75 кг; 2×205 кг; 2×75 кг + 2×205 кг; 2×75 кг + 4×205 кг; 2×75 кг + 2×635 кг.

У трактора Deutz Fahr Agrofarm 410G с эксплуатационной массой 3700 кг суммарный вес балластировочных грузов составил 800 кг, у трактора John Deer 8235R с эксплуатационной массой 11047 кг суммарный максимальный вес балластировочных грузов – 4310 кг. Вес балластировочных грузов у трактора Deutz Fahr Agrofarm 410G составляет 21,6% от эксплуатационной массы, у John Deer 8235R – 39%. Следовательно, для трактора с большим эксплуатационным весом нужна большая доля балластировочных грузов. Окончательный вывод мы сделаем после определения оптимальной доли балластировочных грузов, влияющих на максимальное увеличение эксплуатационных свойств.

Для определения оптимальной доли балластировочных грузов примем следующие варианты догрузки тракторов.

Deutz Fahr Agrofarm 410G.

1-й вариант – без догрузки;

2-й вариант – 4 передних пластины по 40 кг;

3-й вариант – 4 передних пластины по 40 кг + 2 пластины на задние колёса;

4-й вариант – 8 передних пластин по 40 кг + 2 пластины на задние колёса;

5-й вариант – 8 передних пластин по 40 кг + 4 пластины на задние колёса;

6-й вариант – 12 передних пластин по 40 кг + 4 пластины на задние колёса;

7-й вариант – 12 передних пластин по 40 кг + 6 пластин на задние колёса;

8-й вариант – 12 передних пластин по 40 кг + 8 пластин на задние колёса.

John Deer 8235R.

1-й вариант – без догрузки;

2-й вариант – со стандартной передней опорой – 170 кг;

3-й вариант – со стандартной передней опорой – 170 кг + колёсные грузы на заднюю ось 2×75 кг;



4-й вариант – со стандартной передней опорой – 170 кг + 4 груза по 50 кг + колёсные грузы на заднюю ось 2×75 кг;

5-й вариант – со стандартной передней опорой – 170 кг + 4 груза по 50 кг + колёсные грузы на заднюю ось 2×205 кг;

6-й вариант – со стандартной передней опорой – 170 кг + 8 грузов по 50 кг + колёсные грузы на заднюю ось 2×75 кг + 2×205 кг;

7-й вариант – со стандартной передней опорой – 170 кг + 8 грузов по 50 кг + колёсные грузы на заднюю ось 4×205 кг;

8-й вариант – со стандартной передней опорой – 170 кг + 12 грузов по 50 кг + колёсные грузы на заднюю ось 2×75 кг + 4×205 кг;

9-й вариант – со стандартной передней опорой – 170 кг + 16 грузов по 50 кг + колёсные грузы на заднюю ось 2×635 кг;

10-й вариант – со стандартной передней опорой – 170 кг + блочный груз 900 кг + колёсные грузы на заднюю ось 2×75 кг + 2×635 кг;

11-й вариант – со стандартной передней опорой – 170 кг + 20 грузов по 50 кг + колёсные грузы на заднюю ось 2×75 кг + 2×635 кг;

12-й вариант – со стандартной передней опорой – 170 кг + 20 грузов по 50 кг + колёсные грузы на заднюю ось 2×75 кг + 4×205 кг + 2×635 кг.

На основании представленных вариантов догрузки в таблице 1 представим эксплуатационные массы и номинальные тяговые усилия тракторов с учётом варианта догрузки.

Номинальную силу тяги на крюке (номинальное тяговое усилие) определяют по формуле:

$$P_{кр. н} = Am_{э}, \quad (1)$$

где A – коэффициент для тракторов с 4-мя ведущими мостами с эксплуатационной массой свыше 2600 кг (25,5 кН).



$$A = 3,92 \cdot 10^{-3}.$$

Для трактора Deutz Fahr Agrofarm 410G по первому варианту догрузки

$$P_{\text{кр. н.}} = \frac{3,92 \cdot 36,3}{1000} = 14,2 \text{ кН.}$$

Расчёты для других вариантов, а также для трактора John Deer 8235R, представим в таблице 1.

Таблица 1 – Номинальное тяговое усилие при разных вариантах догрузки, кН

№ варианта	Марка трактора			
	Deutz Fahr Agrofarm 410G		John Deer 8235R	
	мЭ, кН	P _{кр.н.} , кН	мЭ, кН	P _{кр.н.} , кН
1	36,3	14,2	108,3	42,4
2	37,8	14,8	110,0	43,1
3	38,6	15,1	111,5	43,7
4	40,2	15,8	113,4	44,4
5	41,0	16,1	116,0	45,5
6	42,6	16,7	119,4	46,8
7	43,3	17,0	122,0	47,8
8	44,1	17,3	125,4	49,2
9			130,3	51,1
10			132,7	52,0
11			133,7	52,4
12			141,8	55,6

Номинальное тяговое усилие с использованием балластных грузов у трактора Deutz Fahr Agrofarm 410G увеличилось на 21,8%, у трактора John Deer 8235R – на 31,1%.

Для наглядности, динамику изменения эксплуатационной массы, номинального тягового усилия в зависимости от массы балластных грузов для трактора Deutz Fahr Agrofarm 410G представим на рисунке 3.

Из представленных расчётов в таблице 1 и рисунке 3 видно, что при увеличении эксплуатационной массы на 21,5% номинальное тяговое усилие увеличилось на 21,8% (у John Deer 8235R соответственно 30,9 и 31,1%), что незначительно, но рост номинального тягового усилия превышает рост эксплуатационной массы за счёт использования балластных грузов.



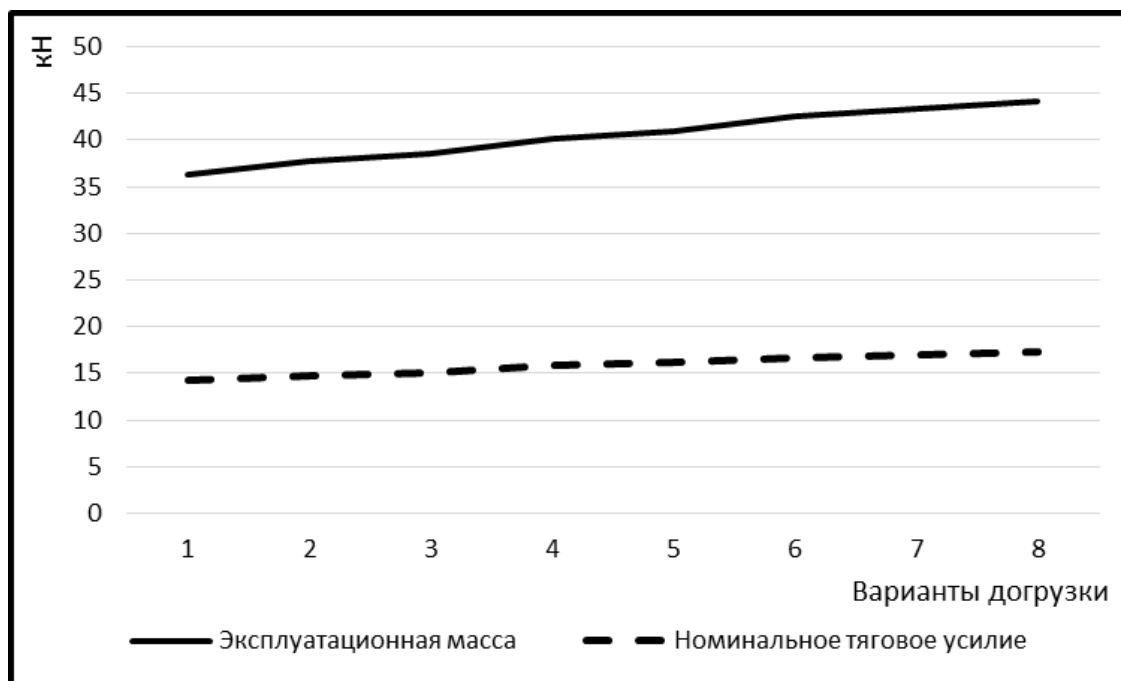


Рисунок 3 – Динамика изменения эксплуатационной массы, номинального тягового усилия в зависимости от варианта догрузки

Для оценки влияния балластирования на производительность машинно-тракторного агрегата (МТА), на расход топлива произведём расчёты по формированию МТА для выполнения технологической операции культивации.

Исходные данные для расчётов: удельное сопротивление – 1,7 кН/м, коэффициент сопротивления перекачиванию – 0,15, запас тягового усилия 7,5%. При расчётах необходимо выбирать возможно более высокие скорости в соответствии с агротехническими требованиями.

Для трактора Deutz Fahr Agrofarm 410G.

Тяговое сопротивление агрегата определяется по формуле:

$$R_a = kV. \quad (2)$$

Для культиватора КПС-4 $R_a = 4 \cdot 1,7 = 6,8$ кН

Тяговое сопротивление соответствует тяговому усилию на передаче III5 с тяговым усилием 8,11 кН с запасом тягового усилия.



Часовую производительность определим по формуле:

$$W_{\text{ч}} = eB_P V_P = e\xi_B \xi_V \tau B_a V_T, \quad (3)$$

где e – коэффициент, учитывающий единицы измерения скорости движения агрегата, $e = 0,1$.

B_P – рабочая ширина захвата агрегата, м; $B_P = \xi_B B_a$, где ξ_B – коэффициент использования ширины захвата учитывает отличие рабочей ширины захвата от конструктивной: $\xi_B = \frac{B_P}{B_a}$. При поверхностной обработке $\xi_B = 0,95-0,96$.

V_P – рабочая скорость движения агрегата; $V_P = \xi_V V_T$, где ξ_V – коэффициент использования скорости: $\xi_V = \frac{V_P}{V_T}$. $\xi_V = 0,77$ для тракторов кл. 1,4 тс;

τ – коэффициент использования времени смены: $\tau = \frac{T_P}{T_{\text{СМ}}}$. При хорошей организации труда и нормальных условиях эксплуатации $\tau = 0,7-0,8$.

$$W_{\text{ч}} = 0,1 \cdot 0,955 \cdot 4 \cdot 0,77 \cdot 12,4 \cdot 0,75 = 2,73 \text{ га/ч}$$

Расчёт расхода топлива.

$$g_{\text{ГА}} = \frac{G_{\text{Т.Р}} + G_{\text{Т.П}} + G_{\text{Т.ПЕР}} + G_{\text{Т.ХД}}}{W_{\text{ч}}}, \quad (4)$$

где $G_{\text{Т.Р}}$, $G_{\text{Т.П}}$, $G_{\text{Т.ПЕР}}$, $G_{\text{Т.ХД}}$ – средние часовые расходы топлива в течение смены, кг/ч при выполнении основной (чистой) работы, холостых ходов на



поворотах, переездах и во время холостой работы двигателя (во время остановок агрегата с работающим двигателем).

Средние часовые расходы топлива принимаются по справочным данным или расчётным путём через удельный расход топлива на 1 эф. л.с. и степень загрузки двигателя.

$$g_{ГА} = \frac{8,89 \cdot 0,75 + 4,91 \cdot 0,25}{2,73} = \frac{6,67 + 1,23}{2,73} = 2,89 \text{ кг/га}$$

Результаты расчётов влияния балластирования на производительность машинно-тракторного агрегата (МТА), на расход топлива представим в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние балластирования на производительность МТА, на расход топлива у агрегата в составе с трактором Deutz Fahr Agrofarm 410G

№ варианта	Марка СХМ	Часовая производительность, га/ч	Удельный расход топлива, кг/га
1	Культиватор КПС-4	2,73	2,89
2	Культиватор КПС-4	2,73	3,01
3	Культиватор КПС-4	2,73	3,07
4	Культиватор КПС-4	2,73	3,2
5	Культиватор КПС-4	2,73	3,26
6	Культиватор КПС-4	2,73	3,38
7	Культиватор КПС-4	2,73	3,45
8	Культиватор КПС-5	3,03	3,16

Используя индексный метод, взяв за базисный 1-й вариант догрузки, определим оптимальный вариант догрузки балластными грузами трактора Deutz Fahr Agrofarm 410G.

1-й вариант – $1 + 1 = 2$ балла;

2-й вариант – $1 + 0,96 = 1,96$ балла;

3-й вариант – $1 + 0,94 = 1,94$ балла;

4-й вариант – $1 + 0,9 = 1,9$ балла;

5-й вариант – $1 + 0,89 = 1,89$ балла;

6-й вариант – $1 + 0,85 = 1,85$ балла;



7-й вариант – $1 + 0,84 = 1,84$ балла;

8-й вариант – $1,11 + 0,91 = 2,02$ балла.

Оптимальным вариантом догрузки трактора Deutz Fahr Agrofarm 410G балластными грузами будет догрузка 12 передними пластинами по 40 кг + 8 пластин на задние колёса.

Аналогичные расчёты произведём для трактора John Deer 8235R, данные расчётов представим в таблице 3.

Тяговое сопротивление агрегата определяется по формуле:

$$R_a = R_m + R_f, \quad (5)$$

где R_m – тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, кН;

R_f – сопротивление перекачиванию сельскохозяйственной машины, кН.

Для культиватора КПМ-14 $R_a = 14 \cdot 1,7 + 0,15 \cdot 45,4 = 23,8 + 6,81 = 30,6$ кН.

Тяговое сопротивление соответствует тяговому усилию на передаче П5 = 9,1 км/ч с тяговым усилием 34,1 кН с запасом тягового усилия.

$$W_q = 0,1 \cdot 0,955 \cdot 14 \cdot 0,83 \cdot 9,1 \cdot 0,75 = 8,74 \text{ га/ч}$$
$$g_{ГА} = \frac{23,9 \cdot 0,75 + 13,1 \cdot 0,25}{8,74} = \frac{17,9 + 3,27}{8,74} = 2,42 \text{ кг/га}$$

Используя индексный метод, взяв за базисный 1-й вариант догрузки, определим оптимальный вариант догрузки балластными грузами трактора John Deer 8235R.

1-й вариант – $1 + 1 = 2$ балла;

2-й вариант – $1 + 0,99 = 1,99$ балла;

3-й вариант – $1,15 + 1,12 = 2,27$ балла;



- 4-й вариант – $1,15 + 1,1 = 2,25$ балла;
 5-й вариант – $1,15 + 1,08 = 2,23$ балла;
 6-й вариант – $1,15 + 1,05 = 2,2$ балла;
 7-й вариант – $1,15 + 1,03 = 2,18$ балла;
 8-й вариант – $1,15 + 1 = 2,15$ балла;
 9-й вариант – $1,36 + 1,13 = 2,49$ балла;
 10-й вариант – $1,36 + 1,11 = 2,47$ балла;
 11-й вариант – $1,36 + 1,1 = 2,46$ балла;
 12-й вариант – $1,36 + 1,04 = 2,4$ балла.

Таблица 3 – Влияние балластирования на производительность МТА, на расход топлива у агрегата в составе с трактором John Deere 8235R

№ варианта	Марка СХМ	Часовая производительность, га/ч	Удельный расход топлива, кг/га
1	Культиватор КПМ-14	7,57	2,8
2	Культиватор КПМ-14	7,57	2,84
3	Культиватор КПМ-14	8,74	2,5
4	Культиватор КПМ-14	8,74	2,54
5	Культиватор КПМ-14	8,74	2,6
6	Культиватор КПМ-14	8,74	2,67
7	Культиватор КПМ-14	8,74	2,73
8	Культиватор КПМ-14	8,74	2,81
9	Культиватор КПМ-14	10,3	2,47
10	Культиватор КПМ-14	10,3	2,52
11	Культиватор КПМ-14	10,3	2,54
12	Культиватор КПМ-14	10,3	2,7

Оптимальным вариантом догрузки трактора John Deere 8235R балластными грузами будет догрузка стандартной передней опорой – 170 кг + 16 грузов по 50 кг + колёсные грузы на заднюю ось 2×635 кг.

Результаты. Использование балластных грузов для реализации тягового усилия стало основным способом увеличения эксплуатационной массы трактора. Кроме того, использование передних балластных грузов позволяет перераспределить нагрузку между осями с целью использования на задней



навеске навесных и полунавесных сельскохозяйственных машин без превышения предельно-допустимой нагрузки на заднюю ось. Балластные грузы на задних колёсах способствуют увеличению тягово-сцепных свойств трактора. Использование балластных грузов на задней навеске позволяет навешивать и эксплуатировать передние фронтальные погрузчики [5].

В данном исследовании рассмотрена возможность повышения эксплуатационных свойств у трактора Deutz Fahr Agrofarm 410G с показателем энергонасыщенности $\Theta = 1,78$ кВт/кН и трактора John Deer 8235R с показателем $\Theta = 1,6$ кВт/кН. Предложены варианты догрузки, рассчитаны тяговые усилия в соответствии с вариантами догрузки. На основании расчётов производительности и влияния балластирования на производительность сделан вывод об оптимальном варианте догрузки. Так, для трактора Deutz Fahr Agrofarm 410G оптимальная догрузка составила 800 кг, или 21,6%, для трактора John Deer 8235R – 2240 кг, или 20,3% от эксплуатационной массы. На основании данных исследований и расчётов можно сделать вывод о том, что для улучшения эксплуатационных свойств необходимы балластные грузы в равной доле от эксплуатационной массы, независимо от тягового класса трактора. Это предварительный вывод, окончательный вывод можно будет сделать после дальнейших исследований и сравнения с тракторами других тяговых классов, различных фирм, различных компоновок.

Список источников

1. Allis Chalmers farm tractors by model. URL: <https://www.tractordata.com/farm-tractors/tractor-brands/allischalmers/allischalmers-tractors.html> (дата обращения: 27.11.2011).
2. Иовлев Г. А., Голдина И. И. Зарубежные сельскохозяйственные тракторы и их эксплуатационные свойства // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2 (62). С. 48-56.



3. История американских тракторов Allis-Chalmers. URL: <https://carakoom.com/blog/istoriya-amerikanskih-traktorov-allischalmers> (дата обращения: 15.11.2021).
4. Кутьков Г. М. К вопросу развития теории трактора // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 3. С. 6-19.
5. Оценка эксплуатационных свойств зарубежных сельскохозяйственных тракторов : рекомендации для студентов и аспирантов высших учебных заведений, обучающихся по механическим, технологическим и конструкторским специальностям, специалистам инженерно-технических служб эксплуатационных предприятий (предприятий АПК) / Г. А. Иовлев, А. Г. Несговоров, В. С. Зорков, И. И. Голдина, Л. Н. Пильников. Екатеринбург : Издательство Уральского ГАУ, 2020. 192 с.
6. Руководство по продажам Deutz Fahr. URL: <http://extranet.sdfRussia.ru/spravki/Руководство%20по%20продажам.%20Модельный%20ряд%20Deutz-Fahr%202014.pdf> (дата обращения: 14.02.2022).

