УДК 629.3.014.2

Оценка балластирования тракторов 5-6 тяговых классов*Лонцева И.А., Сенников В.А.**Дальневосточный государственный аграрный университет***Аннотация**

Для повышения производительности в сельскохозяйственном производстве создаются комбинированные широкозахватные машины, агрегатируемые с тракторами тяговых классов от 5 и выше. А, согласно агротехническим требованиям, давление движителя на почву должно быть минимальным, как и количество проходов по поверхности поля. Эти противоречия может решить балластирование тракторов, позволяющее использовать мощность двигателя на увеличение тягового усилия. Балластирование оказывает влияние на энергонасыщенность. Повышенная энергонасыщенность с соответствующим балластированием позволяет составлять машинно-тракторные агрегаты (МТА) по более точному соотношению тягового усилия трактора и тягового сопротивления агрегата.

Наиболее востребованы в современном сельском хозяйстве тракторы 5-6 тяговых классов, выпускаемые отечественными и зарубежными тракторостроительными заводами, с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) мощностью 220-320 кВт и эксплуатационным весом 115-150 кН.

В статье проведен двухфакторный дисперсионный анализ, позволяющий определить наибольшее влияние на балластирование трактора. Построена диаграмма, дающая представление о том, какие из исследуемых марок тракторов можно рекомендовать для выполнения сельскохозяйственных операций с учётом балластирования и соблюдения агротехнических требований.

Ключевые слова: ТРАКТОР, БАЛЛАСТИРОВАНИЕ, ЭНЕРГОНАСЫЩЕННОСТЬ, ДВУХФАКТОРНЫЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ

Введение

Сельское хозяйство постоянно находится в стадии развития. В растениеводстве новые технологии требуют совершенствования машинно-тракторных агрегатов. Увеличение площади возделывания сельскохозяйственных культур становится возможным благодаря использованию мощных тракторов и широкозахватных сельскохозяйственных

машин. Так, на смену плугам с 4-5 корпусами пришли модульные конструкции из 8-12 корпусов, позволяющие повысить производительность более чем в 2 раза.

Требования к конструкции тракторов также существенно изменились, причем эти требования противоречивы. Для повышения производительности создаются комбинированные и/или широкозахватные орудия, а для них необходимы тракторы с мощным двигателем и соответствующим тяговым усилием. В свою очередь, агротехнические требования диктуют снижение давления движителя на почву и сокращение количества проходов по поверхности поля. Эти противоречия может решить балластирование тракторов, позволяющее использовать мощность двигателя для увеличения тягового усилия. Так, например, трактор Claas Axion 930 с двигателем мощностью 259 кВт способен за счет балластировки повысить эксплуатационный вес на 29% [1]. Балластирование оказывает влияние на энергонасыщенность.

Объекты и методы

Впервые анализ закономерности балластирования тракторов предложен в работах Кутькова Г.М. [2].

Энергонасыщенность тракторов – это отношение эксплуатационной мощности двигателя, развиваемой им при работе трактора с номинальной тяговой нагрузкой и номинальной скоростью движения, к эксплуатационному весу трактора с балластом и без него [3]:

$$\mathcal{E}_{\text{тр}} = \frac{N_{\text{с.р}}}{G_{\text{тр}}}, \quad (1)$$

где: $N_{\text{с.р}}$ – эксплуатационная мощность двигателя, соответствующая номинальному тяговому усилию;

$G_{\text{тр}}$ – эксплуатационный вес трактора с балластом и без него.

Кутьковым Г.М. [2] предложено сравнение энергонасыщенности конкретного трактора с эталонной. Чтобы колёсный трактор развивал достаточную производительность и работал в зоне максимального КПД, значение энергонасыщенности $\mathcal{E}_{\text{тр}}$ должно укладываться в пределы 1,5...1,7 кВт/кН [3].

Повышенная энергонасыщенность с соответствующим балластированием позволяет составлять машинно-тракторные агрегаты (МТА) по более точному соотношению тягового

усилия трактора и тягового сопротивления агрегата. Трактор без балласта применяют на малоэнергоёмких работах, и он балластируется с орудиями с высоким тяговым сопротивлением. При этом одним из важных вопросов повышения производительности и экономии ресурсов является правильная балластировка, учитывающая место расположения балласта и его вес для соответствующего вида работ.

В современном сельскохозяйственном производстве наиболее востребованы тракторы 5-6 тяговых классов [4]. Зарубежные марки тракторов не предусматривают такой классификации. Для этого, согласно ГОСТ 27021-86, номинальное тяговое усилие трактора $P_{кр\text{ ном}}$ в килоньютонах определяют по формуле [5]:

$$P_{кр\text{ ном}} = A \cdot m_{\text{э}}, \quad (2)$$

где: A – коэффициент, устанавливаемый в зависимости от вида трактора;

$m_{\text{э}}$ – эксплуатационная масса трактора, кг.

В таблице 1 представлены марки тракторов с колесной формулой 4К4 и их характеристики. Значения мощности двигателя, масс эксплуатационной и максимальной взяты из технической документации, а энергонасыщенность и номинальное тяговое усилие вычислили с использованием выражений (1) и (2), соответственно. Тяговый класс определили согласно номинальному тяговому усилию по ГОСТ 27021-86.

Таблица 1. Характеристики тракторов

Марка трактора	Р, кВт	М _э , кг	М _{мах} , кг	Энергонасыщенность, кВт/кН			Номинальное тяговое усилие, кН		Тяговый класс	
				без балласта	с балластом	эталонная	без балласта	с балластом	без балласта	с балластом
К-744 Р2	250	15 220	19 000	1,67	1,34	1,6	59,66	74,48	6	8
RSM 2375	280	11 690	16 057	2,44	1,78	1,6	45,82	62,94	5	6
Claas Axion 930	228	12 830	18 000	1,81	1,29	1,6	50,29	70,56	5	6
John Deere 9430	317	15 105	23 133	2,14	1,40	1,6	59,21	90,68	6	8
Беларус 3522	261	12 300	14 000	2,16	1,90	1,6	48,22	54,88	5	6
New Holland T8.410	250	12 500	15 500	2,04	1,64	1,6	49,00	60,76	5	6

Из таблицы видно, что представленная группа тракторов без балласта согласно ГОСТ 27021-86, преимущественно, относится к пятому тяговому классу. Тракторы марок К-744Р2 и John Deere 9430 с номинальным тяговым усилием более 54 кН относятся шестому тяговому классу. При использовании балластирования тракторы достигают уровня следующего класса, что существенно повышает их технологическую универсальность.

Для проверки зависимости баллаستировки тракторов на показатели провели двухфакторный дисперсионный анализ [6]. За фактор А принята марка трактора, а за фактор В – энергонасыщенность трактора.

В нашем случае факторы А и В считаем взаимодействующими, так как эффект фактора А зависит от уровня фактора В.

В двухфакторном эксперименте полная вариация SS состоит из суммы квадратов, соответствующих фактору А SS_a , суммы квадратов, соответствующих фактору В SS_b , и суммы квадратов, возникающей из-за случайной ошибки SS_e (рис. 1):

$$SS = SS_a + SS_b + SS_e = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (x_{ij} - \bar{x})^2 \quad (3)$$

Рис. 1. Разделение полной вариации в эксперименте

Для проведения анализа применили два критерия.

1. Проверка гипотезы об отсутствии эффекта влияния марки трактора (фактора А).
2. Проверка гипотезы об отсутствии эффекта влияния энергонасыщенности трактора (фактора В).

Каждая из нулевых гипотез отклоняется при заданном уровне значимости α (95%), если фактическое отношение Фишера F больше критического (табличного) значения Фишера F критическое (табл. 2) [6].

Для проведения дисперсионного анализа использовали программу Microsoft Excel

(рис. 2). В результате двухфакторного дисперсионного анализа данных были получены: объем выборки, сумма, среднее арифметическое и дисперсия марки трактора (строка 1-6) и энергонасыщенности (столбец 1-3). В первой таблице на рис. 2 приведены результаты дисперсионного анализа для всех марок тракторов и энергонасыщенности. В сводной таблице дисперсионного анализа df обозначает количество степеней свободы, SS – сумму квадратов, MS – среднее квадратичное отклонение, F – вычисленное значение критерия Фишера F -критическое (табличное) значение критерия Фишера [6].

Таблица 2. Зависимости проведения дисперсионного анализа

Источник вариации	Кол-во степеней свободы	Сумма квадратов	Дисперсия	Отношение Фишера F
А (марка трактора)	$a - 1$	SS_a	$MS_a = \frac{SS_a}{a - 1}$	$F_a = \frac{MS_a}{MS_e}$
В (энергонасыщенность)	$b - 1$	SS_b	$MS_b = \frac{SS_b}{b - 1}$	$F_b = \frac{MS_b}{MS_e}$
Ошибка	$(a - 1)(b - 1)$	SS_e	$MS_e = \frac{SS_e}{(a - 1)(b - 1)}$	
Всего	$ab - 1$	SS		

Чтобы проанализировать эти результаты, сначала проверили, существует ли взаимодействие между факторами А (марка трактора) и В (энергонасыщенность).

При уровне значимости $\alpha=0,05$ (95%) в основе проверки разности между марками тракторов (фактор А) лежит следующее правило: нулевая гипотеза отклоняется, если вычисленное значение критерия Фишера F больше табличного значения F -критическое (рис. 2, строка 18). Поскольку $F=2,76 < F_{\text{критическое}}=3,32$, а $p=0,08$ и больше уровня значимости $\alpha=0,05$, гипотеза H_0 не отклоняется. Следовательно, у нас недостаточно оснований утверждать, что между марками тракторов существует значимая разница.

При заданном уровне значимости $\alpha=0,05$ в основе проверки разности между энергонасыщенностью (фактор В) лежит следующее правило: нулевая гипотеза отклоняется, если вычисленное значение критерия Фишера F больше табличного значения критерия Фишера F (рис. 2, строка 19). Поскольку $F=15,04 > F_{\text{критическое}}=4,10$, а $p=0,001$ и меньше уровня значимости, гипотеза H_0 отклоняется. Следовательно, можно утверждать, что между энергонасыщенностью тракторов существует значимая разница.

Для лучшего анализа взаимодействия факторов на рис. 3 показана диаграмма.

**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**

	A	B	C	D	E	F	G
1	Двухфакторный дисперсионный анализ без повторений						
2							
3	ИТОГИ	Счет	Сумма	Среднее	Дисперсия		
4	Строка 1	3	4,615663	1,538554	0,030573		
5	Строка 2	3	5,819161	1,93972	0,196794		
6	Строка 3	3	4,702703	1,567568	0,068468		
7	Строка 4	3	5,136167	1,712056	0,147211		
8	Строка 5	3	5,663442	1,887814	0,079375		
9	Строка 6	3	5,282878	1,760959	0,058357		
10							
11	Столбец 1	6	12,26857	2,044761	0,074406		
12	Столбец 2	6	9,351447	1,558575	0,063394		
13	Столбец 3	6	9,6	1,6	5,92E-32		
14							
15							
16	Дисперсионный анализ						
17	Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
18	Строки	0,399257	5	0,079851	2,755921	0,08101236	3,32583453
19	Столбцы	0,871812	2	0,435906	15,04448	0,00096578	4,102821015
20	Погрешность	0,289745	10	0,028974			
21							
22	Итого	1,560814	17				

Рис. 2. Результаты дисперсионного анализа

Рис. 3. Диаграмма энергонасыщенности в зависимости от марки трактора

Диаграмма показывает, что трактор К-744 Р2 имеет энергонасыщенность 1,67 кВт/кН, то есть его технический уровень, характеризуемый показателем металлоёмкости, не требует дополнительной балластировки. Максимальной энергонасыщенностью обладает трактор RSM 2375. Даже с учетом балластирования он имеет резерв полного использования мощности, а, значит, может работать на переувлажненных почвах. Тракторы John Deere 9430, Беларусь 3522 и New Holland Т8.410 могут эффективно использоваться с балластированием, причём разработчики трактора NH Т8.410 рекомендуют соотношение балластных грузов, наиболее близкое к эталонному.

Энергонасыщенность трактора Claas Axion 930 составляет 1,81. Это позволяет эффективно использовать его на различных видах работ с балластированием и без. Но предлагаемая конструкторами максимальная масса, превышающая эксплуатационную на 29%, избыточна для мощности данного двигателя.

Заключение

Таким образом, все исследуемые марки тракторов рекомендуем для выполнения сельскохозяйственных операций с учётом балластирования и соблюдения агротехнических требований. Проведённый дисперсионный анализ показал, что значимой разницы между тракторами нет.

Список использованных источников

1. Claas KGaA mbH Mühlenwinkel 1 33428 Harzewinkel (ФРГ) [Электрон. ресурс] // Режим доступа: <https://www.claas.ru/produktsiya/traktory/axion950-920>.
2. Кутьков Г.М., Грибов И.В., Перевозчикова Н.В. Балластирование тракторов // Тракторы и сельхозмашины. – 2017. - №9. - С. 52-60.
3. Селиванов Н.И. Технологические свойства колесных тракторов: учебное пособие. — Красноярск: КрасГАУ, 2019. — 308 с. [Электрон. ресурс] // Лань : электронно-библиотечная система. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/149612>.
4. Щитов С.В., Кузнецов Е.Е., Кривуца З.Ф., Марков С.Н., Вторников А.С., Кузнецова О.А., Авняв М.А. Повышение эффективности функционирования мобильных энергетических средств в условиях Амурской области [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2019. – №2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2019/2/st_209.doc.
5. ГОСТ 27021-86(СТ СЭВ 628-85) Группа Д23 Государственный стандарт союза ССР. Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы.

6. Лонцева И.А. Основы научных исследований: учебное пособие. – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2021. – 116 с.

Цитирование:

Лонцева И.А., Сенников В.А. Оценка балластирования тракторов 5-6 тяговых классов [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/5/st_519.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/20215519>.