

АНАЛИЗ ТЯГОВО-ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ТРАКТОРОВ

Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В., Токарев Д.Е., Лобанов Ю.В.

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1),

ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия» (394613, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8), rivelenasoul@mail.ru

В статье рассмотрена одна из важнейших проблем в механизации сельского хозяйства – повышение энергонасыщенности тракторов и эффективности их работы в существующих и технологических процессах. Решение этой проблемы базировалось на комплексных исследованиях с оценкой технико-экономических показателей, рабочих режимов, надёжности и эксплуатационной эффективности различных модификаций тракторов равной энергонасыщенности. При эксперименте оценку влияния мощности двигателя на транспортную производительность производили на полигоне для обеспечения стабильности условий и методики эксперимента. Авторами установлено, что при равных рейсовых нагрузках загрузка трансмиссии крутящим моментом в целом за рейс примерно одинакова; загрузка трансмиссии на передачах у тракторов повышенной энергонасыщенности возрастает в соответствии со степенью форсировки их двигателей по крутящему моменту.

Ключевые слова: трактор, эксплуатационная эффективность, энергонасыщенность, мощность, производительность, технические характеристики.

ANALYSIS OF TRACTION AND DYNAMIC QUALITY TRACTORS

Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortcova T.V., Tokarev D.E., Lobanov Y.V.

Voronezh State Agrarian University after Emperor Peter the Great (394087, Voronezh, st. Michurina, 1)

Voronezh State Academy of Forestry Engineering and Technologies (394613, Voronezh, street Timirjazeva, 8) rivelenasoul@mail.ru

The article describes one of the major problems in the mechanization of agriculture - increasing power tractors and their efficiency in existing and processes. The solution to this problem based on complex studies with the assessment of technical and economic parameters, operating modes, reliability and effectiveness of different models of tractors equal energy saturation. In the experiment assessing the impact on the transport capacity of the engine performance produced at the site to ensure the stability conditions and the experimental procedure. The authors found that at equal loads voyage load torque transmission in general, the flight is about the same, the transmission load on gear tractors increased energy saturation increases according to the degree of boosting their engines, torque.

Keywords: tractor, operating efficiency, energy saturation, power, performance, characteristics.

Введение. Характер взаимодействия с предметом труда приводит к тому, что с увеличением рейсовой нагрузки повышается сцепной вес транспортной системы и напряженность режима работы. Условия эксплуатации трактора сложны и многообразны.

Структура точки, микронеровности поверхности пути, физико-механические свойства грунта и снега, рельеф местности могут изменяться в очень широком диапазоне.

Одной из важнейших проблем в механизации сельского хозяйства является повышение энергонасыщенности тракторов и эффективности их работы в существующих и перспективных технологических процессах. Решение этой проблемы должно базироваться на комплексных исследованиях с оценкой технико-экономических показателей, рабочих режимов, надёжности и эксплуатационной эффективности различных модификаций тракторов равной энергонасыщенности.

В некоторых перспективных технологических процессах предусматривается использование тракторов высокопроходимых, скоростных и потому большой энергонасыщенности. Уже находят изменение технологические процессы, в которых трактор переводит сельхозгрузы на расстояние 1,5-2,0 км и более.

Создание и внедрение тракторов высокой энергонасыщенности должно сопровождаться исследованиями эффективности их использования, с установлением рациональных диапазонов энергонасыщенности и рейсовых нагрузок для конкретных условий эксплуатации.

В соответствии с задачами, стоящими перед сельским хозяйством, а также перед машиностроительными заводами, выпускающими тракторы и разрабатывающими новые перспективные их модификации, большой научный и практический интерес представляют исследования [1]: технико-эксплуатационных показателей и эффективности различных модификаций трактора при выполнении транспортных операций; рабочих режимов трактора в реальных производственных условиях; рационального диапазона энергонасыщенности трактора; оптимально предельных диапазонов тяговых и скоростных свойств в зависимости от сцепных, прочностных и других качеств трактора.

Теоретический анализ. Повышение эффективности трактора может быть достигнуто как увеличением крутящего момента, так и частоты вращения коленчатого вала двигателя. Изменение этих параметров двигателя может быть направлено либо на увеличение касательной силы тяги, либо на увеличение скорости движения трактора.

Однако в условиях производственной эксплуатации эффективность использования трактора, предопределяемая в конечном счете его производительностью, ограничивается следующими факторами: рейсовыми нагрузками, скоростью движения транспортной системы с грузом, касательной силой тяги (максимальной и на отдельных рабочих передачах), нагруженностью конструкции и свойствами грунта, определяющими силы сцепления и сопротивления.

Рассмотрим кратко влияние этих факторов в их взаимосвязи на производительность трактора.

Увеличение рейсовой нагрузки до определенного значения в конкретных производственных условиях влечет за собой возрастание сил сопротивления движению и, следовательно, потребной касательной силы тяги. Использование пониженных передач создает необходимый запас силы тяги для трогания и движения, но неизбежно ведет к снижению скорости движения и производительности. В ряде случаев, при пониженных значениях коэффициента сцепления, ограничение движению наступает из-за полного или частичного буксования. Значительное снижение скорости часто наблюдается при маневрировании на поворотах тракторов малой энергонасыщенности с малым запасом касательной силы тяги. Таким образом, максимальное значение касательной силы тяги и её значения на основных используемых передачах

должны обеспечивать устойчивое, с наибольшей возможной скоростью, движение с оптимальными условиями для обеспечения наиболее высокой производительности.

Следовательно, уровень энергонасыщенности трактора, его масса, параметры силовой передачи, тягово-скоростные качества, габариты погрузочного оборудования, прочность и надежность узлов и другие факторы находятся в тесной и сложной взаимосвязи с рейсовыми нагрузками, условиями эксплуатации и друг с другом.

Анализ технических характеристик базовых и перспективных модификаций тракторов ОТЗ

Рассмотрим основные технические параметры тракторов ОТЗ в сравнении с серийным. На серийной модификации трактора ТДТ-55А устанавливается четырехцилиндровый дизель с вихрекамерным способом смесеобразования или с непосредственным выпрыском ($N_e=80$ л.с., $n=1800$ об/мин). Номинальный крутящий момент составляет $M_{ep}=31,6$ кгс.м. Силовая передача не отличается ни конструкцией, ни передаточными числами от базовой на ТДТ-55. Ведущая звездочка имеет $z=9$ зубьев и $h_{зв}=0,196$ м.

На тракторе ТДТ-55М используется дизель с турбонаддувом, что позволило форсировать его по мощности на 20%, в том числе: за счет крутящего момента на 13% и за счет частоты вращения коленчатого вала на 5,9%. Модернизация силовой передачи заключается в изменении конструкции и передаточных чисел ведущего моста. Модернизированный ведущий мост отличается большой несущей способностью и долговечностью за счет увеличения модуля зубьев шестерен главной передачи и бортовых передач, повышением жесткости картеров бортовых передач и применением звездочки с $z=11$ увеличенного радиуса (0,278).

Ведущий мост трактора ТДТ-55М имеет приведенное передаточное число $\frac{i_0 i_{\sigma}}{R_{зв}}$ на 7%

большее, чем у трактора ТДТ-55А, что способствует повышению касательной силы тяги на всех передачах по сравнению с базовой моделью. Скоростные качества трактора ТДТ-55М и базового практически не отличаются вследствие соответствующего различия в частотах вращения коленчатого вала. Эксплуатационные массы тракторов также одинаковы.

На перспективном тракторе высокой энергонасыщенности используется дизель, форсированный турбонаддувом с промежуточным охлаждением воздуха после нагнетателя, а также с частотой вращения коленчатого вала до $n=1900$ мин⁻¹. По сравнению с базой и модернизированной моделью степень форсировки соответственно составляет: по мощности на 60 и 33%; по крутящему моменту на 43 и 26%; по частоте вращения коленчатого вала на 12 и 6%.

Проанализируем тягово-скоростные качества перспективных модификаций трелевочных тракторов ОТЗ по сравнению с серийной моделью ТДТ-55А. По данным ГСКБ ОТЗ, коэф-

коэффициент полезного действия силовой передачи и гусеничного движителя принимался равным $\eta_{\text{ТГ}}=0,858$. В соответствии с технической характеристикой максимальное значение касательной силы тяги на первой передаче трактора ТДТ-55А составляет 7250 кгс, а максимальная скорость движения достигает 11,8 км/ч. На наиболее используемых передачах (II и III) при грузовом ходе сила тяги лежит в диапазоне 3-5 кН при скорости движения 2-4 км/ч. Эти тягово-скоростные качества позволяют трактору трелевать пачки объемом 5-6 м³ при умеренных значениях коэффициента сопротивления движению $\psi=0,250$. Перевозка груза большого объема обычно сопровождается уменьшением скорости движения и производительности за счет преобладающего использования низших передач. Четвертая передача используется при движении холостым ходом, на уклонах или на легких участках дороги.

Трактор ТДТ-55М в сравнении с серийным, несмотря на более высокое значение приведенного передаточного числа заднего моста, обладает на всех передачах такими же скоростными качествами. Однако за счет форсирования его двигателя по крутящему моменту касательная сила тяги на всех передачах на 25-28% выше, чем у серийного, а максимальное её значение достигает 9,3 кН.

Значительное повышение тяговых качеств позволяет трактору ТДТ-55М при тех же, оптимальных с точки зрения прочностных качеств и сцепных свойств, рейсовых нагрузках $Q = 5 - 6 \text{ м}^3$ широко использовать третью и четвертую передачи. Это, естественно, проявляется в существенном увеличении скорости движения и производительности. В условиях бездорожья или при больших значениях рейсовых нагрузок (до $Q = 10 \text{ м}^3$) трактор ТДТ-55М, как показали производственные наблюдения и экспериментальные исследования, обладает хорошими скоростными качествами и показателями производительности. Особенно заметно проявляются тяговые и скоростные качества этого трактора при движении по дорожным поверхностям с низкими сцепными свойствами (снег, заболоченные участки). Обладая достаточным запасом силы тяги, двигаясь на относительно высокой скорости, трактор ТДТ-55М, как показал специально поставленный эксперимент, легко преодолевал такие участки, где серийный трактор был подвержен частичному и полному буксованию.

Тяговые и скоростные качества перспективного трактора ТДТ-55ММ высокой энергонасыщенности существенно превосходят качества серийной машины и отличаются от трактора ТДТ-55М, в особенности по скоростным свойствам. За счет изменения ряда передаточных чисел коробки передач радиуса начальной окружности ведущих звездочек на всех передачах скорость возросла на $1,5 \div 2,5$ км/час. Изменение касательной силы тяги существенно коснулось I, III и IV передач. На первой передаче P_k возросла примерно на 5% при одновремен-

ном возрастании скорости. На второй передаче сила тяги сохранилась в тех же пределах, но скорость во всем диапазоне возросла примерно на 1,5 км/ч и достигает 5 км/ч при касательной силе тяги 6,0 т.с. Такое высокое значение силы тяги позволяет этому трактору перевозить в средних условиях груз объемом до 10 м^3 со сравнительно высокой скоростью. Сила тяги на III передаче оказалась ниже, чем у трактора ТДТ-55М, но зато ей соответствует более высокая скорость, достигающая 7 км/ч. Диапазон касательной силы тяги на IV передаче у сравниваемых тракторов примерно одинаков, но у энергонасыщенного трактора ему соответствует скорость 9,7 км/ч.

Таким образом, тяговый и скоростной диапазон качеств энергонасыщенного трактора наиболее близко соответствует желаемым техническим данным тракторов, предназначенных для работы по перспективной технологии с обеспечением высокой эффективности.

Методика. Исследование оценки влияния мощности двигателя на транспортную производительность целесообразно проводить на полигоне для обеспечения стабильности условий и методики эксперимента. Одним из основных показателей, оценивающих эффективность эксплуатации трактора, может служить величина транспортной производительности P_T . Её величина предопределяется значениями рейсовой нагрузки Q и средней за рейс скорости движения V . В свою очередь рейсовая нагрузка и скорость движения взаимосвязаны между собой и зависят от энергонасыщенности машины и параметров её силовой передачи, а также условий эксплуатации. Объем и структура груза, грунтово-рельефные условия и их изменчивость по длине дороги вызывают значительные изменения силы сопротивления движению P_K . Квалифицированный тракторист, в зависимости от величины P_K , избирает ту или иную передачу, а следовательно, и загрузку двигателя, стремясь двигаться с возможно более высокой скоростью для обеспечения максимальной производительности. Поэтому степень использования передач при условии оптимальной загрузки двигателя на них определяет ту оптимальную по условиям сопротивления движению скорость рейса, при которой достигается при данной рейсовой нагрузке максимальная производительность. Основным фактором, влияющим на среднюю скорость рейса или продолжительность рейса T_p , является степень использования передач, которая в свою очередь зависит от рейсовых нагрузок и тяговых качеств трактора [2; 3].

Рассмотрим, как влияют эти показатели на транспортную производительность тракторов различной энергонасыщенности при изменении рейсовых нагрузок (таблица 1).

Касательная сила тяги P_K , характеризующая состояние грунта, с ростом рейсовых нагрузок пропорционально возрастает. При соответствующих рейсовых нагрузках её величина практически одинакова для тракторов различной энергонасыщенности. Средняя скорость за рейс,

равная примерно 6 км/ч при порожнем рейсе, с ростом рейсовых нагрузок и касательной силы тяги заметно снижается и при рейсовых нагрузках $Q = 5,4 - 7,6 \text{ м}^3$ для серийного трактора ТДТ-55М лежит в пределах 4,1-4,7 км/час. В то же время при $Q = 7 \text{ м}^3$ трактор высокой энергонасыщенности ТДТ-55М имеет $V=8,8$ км/ч, то есть в два раза более высокую, в соответствии с этим его транспортная производительность $\Pi_T = 59,3 \text{ м}^3 \text{ км/ч}$ оказывается почти в 2 раза большей, чем у менее мощных тракторов [4].

Причина высокой эффективности энергонасыщенного трактора заключается в его хороших тягово-скоростных качествах, которые позволяют ему большую часть волока проходить с высокой скоростью на IV передаче (67,4%), тогда как у менее мощных тракторов преобладает использование низших (II и III) передач.

При рейсовой нагрузке $Q = 9,9 \text{ м}^3$ эти различия в степени использования передач у сравниваемых тракторов проявляются в ещё большей степени. У серийного трактора при среднем уровне $P_k = 41700 \text{ Н}$ основными служат II и III передачи, а на тяжелых участках дороги длительно используется II передача. Это приводит к снижению средней скорости рейса и затуханию роста транспортной производительности. Несколько лучшие скоростные и тяговые показатели трактора ТДТ-55М обеспечивают ему несколько большую производительность. Трактор ТДТ-55М при рейсовой нагрузке $Q = 9,0 \text{ м}^3$ дает наибольшую транспортную производительность, равную $67,5 \text{ м}^3 \text{ км/ч}$. Большая касательная сила тяги на передачах и рациональное их использование позволяют получить высокую среднюю скорость рейса – 7,3 км/ч.

Таблица 1 – Параметры, определяющие транспортную производительность тракторов различной энергонасыщенности

N_e , л.с.				Использование передач, %						$M_{\text{КВ}}^{\text{ср}}$ кгс.м	P_k , $\times 10$, Н	V км/ч	Π_T $\frac{\text{м}^3 \text{ км}}{\text{ч}}$
				Сцепл	I	II	III	IV	3. Х.				
75	0	16'25"	100	3,2	–	–	44,0	52,8	–	30,6	2316	5,6	–
	5,4	20'58"	100	1,3	–	17,0	81,7	–	–	39,6	2983	4,2	22,8
	7,4	22'29"	100	1,9	2,6	25,3	70,2	–	–	45,8	3330	4,1	30,6
	9,9	25'32"	100	2,5	15,0	32,5	50,0	–	–	55,1	4170	3,6	35,4
90	0	14'44"	89,7	2,8	–	–	4,0	93,2	–	30,8	2330	5,3	–
	5,4	17'47"	84,8	2,8	–	–	60,4	36,8	–	43,4	3286	4,	25,8

	7,4	18'54"	84,1	4,0	–	11,2	50,0	34,8	–	46,1	3490	4,4	34,8
	9,9	23'58"	93,9	5,7	10,7	16,9	45,1	21,6	–	53,7	4065	3,9	39,0
120	7	10'14"	45,5	1,8	–	–	32,6	67,4	–	51,4	3515	8,8	59,3
	9,0	12'40"	49,6	3,5	–	23,1	37,4	36,0	–	55,7	3810	7,3	67,5
	12,0	19'20"	–	6,8	21,4	23,8	42,0	–	–	62,6	5650	4,7	54,5

При $Q = 12,0 \text{ м}^3$ резко возрастает касательная сила тяги (до 56500 Н), что вызывает интенсивное использование низших (I и II) передач. Вследствие этого средняя скорость рейса и производительность снижаются. Поэтому оптимальной с точки зрения достижения максимальной транспортной производительности для этого трактора может считаться рейсовая нагрузка $9,0 \text{ м}^3$. Ранее на основе теоретического анализа было обосновано и большим экспериментальным материалом подтверждено положение, что для трактора, независимо от рейсовой нагрузки и условий эксплуатации, на каждой передаче при грузовом ходе получаются вполне определенные значения коэффициента загрузки двигателя крутящим моментом: I–0,65–0,75; II–0,70–0,80; III–0,80–0,90; IV–0,85–1,00.

Высшие передачи (III и IV) используются на более легких и стабильных по величине сопротивлений участках дороги, что дает сравнительно высокую загрузку двигателя в условиях, в которых эксплуатируется машина, с достаточной точностью может быть охарактеризована вероятность использования передач при грузовом ходе. Опытные данные по величинам крутящего момента в трансмиссии $M_{\text{КВ}}$, загрузки двигателя K_3 и касательной силы тяги $P_{\text{К}}$ позволяют оценить с учетом степени использования передач загруженность трансмиссии тракторов различной энергонасыщенности.

Вывод. Анализируя данные, можно отметить следующее: при равных рейсовых нагрузках загрузка трансмиссии крутящим моментом в целом за рейс примерно одинакова; загрузка трансмиссии на передачах у тракторов повышенной энергонасыщенности возрастает в соответствии со степенью форсировки их двигателей по крутящему моменту.

Список литературы

1. Ермолов Л.С. Основы надёжности сельскохозяйственной техники / Л.С. Ермолов, В.М. Кряжков, В.Е. Черкун. – М. : Колос, 1974. – С. 147-155.
2. Информационные технологии для решения задач управления в условиях рационального лесопользования : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.И. Вакулин, В.Н. Логачев. – Воронеж, 2011. – 127 с. - Деп. в ВИНТИ 26.09.2011, № 420-2011.
3. Методы, модели и алгоритмы повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесных

автомобильных дорог в процессе проектирования, строительства и эксплуатации : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.И. Вакулин, В.Н. Логачев. – Москва : ФЛИНТА: Наука, 2012. – 310 с.

4. Михлин В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники. – М. : Колос, 1984. – 335 с.

5. Надёжность и ремонт машин : учеб. / под ред. В.В. Курчаткина. – М. : Колос, 2000. – 776 с.

6. Ресурсосбережение при технической эксплуатации сельскохозяйственной техники / В.Н. Черноиванов [и др.]. – М. : ГОСНИТИ-ФГНУ, 2002. – 780 с.

7. Скрыпников А.В. Изучение вопросов отказов механизмов и узлов лесовозных автопоездов : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, О.Н. Бурмистрова, К.А. Яковлев; ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2012. – Деп. в ВИНТИ 28.05.2012 г. № 256-В2012. – 68 с.

8. Скрыпников А.В. Повышение надежности технического состояния парка подвижного состава, специализирующегося на перевозке лесных грузов : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, К.А. Яковлев; ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – Москва : Флинта: Наука, 2012. – 152 с.

9. Скрыпников А.В. Повышение уровня безопасности технологических процессов в агропромышленном комплексе : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, В.И. Орбинский; ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2012. – 63 с. - № 255-В2012.

10. Скрыпников А.В. Повышение эффективности технической эксплуатации машин лесного комплекса : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, А.И. Урюпин, К.А. Яковлев; ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». - Воронеж, 2012. – Деп. в ВИНТИ 28.05.2012 г. № 258-В2012.

Рецензенты:

Рябова О.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры строительства и эксплуатации автомобильных дорог ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет», г. Воронеж.

Устинов Ю.Ф., д.т.н., профессор, профессор кафедры инженерной механики и строительной техники ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет», г. Воронеж.