

ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ СЕМЕЙСТВА «БЕЛАРУС»

*Докт. техн. наук ГУСЬКОВ В. В.¹⁾, канд. экон. наук ПАВЛОВА В. В.¹⁾, канд. техн. наук РАВИНО В. В.¹⁾,
РАДЧЕНКО П. В.¹⁾, канд. техн. наук ГУСЬКОВ А. В.²⁾*

¹⁾Белорусский национальный технический университет,
²⁾ОАО «МАЗ»

Колесные тракторы эксплуатируются в различных погодно-климатических и природных условиях. Требования, предъявляемые к ним, весьма разнообразны и противоречивы. Для удовлетворения этих требований необходимо наличие ряда эксплуатационных свойств, характеризующих в комплексе эффективность, комфортность, безопасность и экономичность трактора вместе с агрегируемой машиной или орудием, в дальнейшем именуемым как машинно-тракторный агрегат (МТА). Комплекс эксплуатационных свойств называется «Потребительские свойства машины» и в соответствии с СТБ 1218–2000 определяется как совокупность технических, эстетических и других свойств продукции, создающей полезный эффект и привлекательность для потребления.

Потребительские свойства продукции оцениваются рядом комплексных и единичных показателей [1]. Показатель потребительских свойств может оцениваться: в сравнении с показателями трактора, принятого в качестве аналога; расчетным путем; статистическими методами; по результатам сравнительных испытаний.

При этом источниками информации могут быть: международные и национальные стандарты, а также другие нормативные документы с требованиями к тракторам и сельскохозяйственной технике; справки маркетинг-центров заводов и других организаций о состоянии и тенденциях развития рынка; каталоги и проспекты ведущих фирм, периодические издания; отчеты специалистов заводов или других организаций, в том числе НИИ, вузов, о посещениях

международных выставок и ярмарок; протоколы испытаний; патенты на изобретения, свидетельства на промышленные образцы; аналитические обзоры статей в технической литературе и научные публикации, посвященные теории, проектированию и расчету тракторов; карты технического уровня и качества; результаты анкетирования потребителей и специалистов и др.

Особо следует отметить источники [2, 3], в которых приводятся сведения и результаты расчетов по оптимизации потребительских свойств и системообразующих параметров колесных тракторов, основанные на исследованиях проблем тракторостроения в рамках заданий Государственной научно-технической программы «Белавтотракторостроение» за 1995–2005 гг., в которой авторы принимали непосредственное участие.

Существуют различные классификации потребительских свойств продукции, каждая из которых может отражать различные аспекты исследуемой проблемы. Общетехнические потребительские свойства связаны в основном с обеспечением удобства работы и обслуживания, санитарно-гигиенических условий и условий безопасности работы водителя. Они оцениваются следующими показателями: предельным уровнем шума, вибрации, запыленности, загазованности и микроклиматом в кабине; легкостью обслуживания, готовностью к работе и т. д.

Безопасность работы водителя оценивается предельными углами статической и динамиче-

ской устойчивости, критическими скоростями движения, тормозными качествами и противопожарной безопасностью (наличием искрогасителей, огнетушителей и др.).

По одной из наиболее распространенных классификаций [4] потребительские свойства трактора условно можно разделить на три группы:

1) характеризующие приспособленность трактора к выполнению технологических требований, вытекающих из условий работы, или технологические (агротехнические);

2) определяющие производительность и экономичность работы агрегата, или технико-экономические;

3) обеспечивающие комфорт водителя и его безопасность, или общетехнические.

Технологические (агротехнические) потребительские свойства представляют собой ряд свойств, связанных в основном с проходимостью и маневренностью трактора. В качестве показателей для определения проходимости используют давление на грунт, буксование, агротехнический и дорожный просвет, тип и конструктивные особенности движителя, габаритную высоту и ширину машины.

Технико-экономические потребительские свойства определяются в основном производительностью и экономичностью трактора. Производительность трактора характеризуется объемом выполненной работы за единицу времени при соблюдении заданных условий технологического процесса и может определяться, например, размером обработанной площади, массой перевозимого груза за единицу времени и др. В соответствии с этим производительность оценивается такими показателями, как мощность двигателя, запас крутящего момента и коэффициента приспособляемости, диапазон тяговых усилий и скоростей движения, тип навесного устройства и вала отбора мощности и т. д.

Экономичность трактора определяется себестоимостью выполненных работ и зависит от: расхода топлива, смазочных материалов и их стоимости, затрат на заработную плату водителей, расходов на техническое обслуживание и ремонт, размеров отчислений на амортизацию и т. д. В теории трактора [4] рассмат-

риваются в основном вопросы топливной экономичности агрегата и ее зависимости от расхода топлива при различных эксплуатационных режимах, от потерь, возникающих при движении машины, подбора диапазонов и количества передач, других конструктивных и эксплуатационных показателей.

Существует и другая классификация потребительских свойств машины [5]. В качестве классификационного признака приняты свойства машин, преимущественно характеризующие те или иные показатели этих свойств (табл. 1).

Перечисленные в табл. 1 потребительские свойства машины в большей или меньшей мере взаимосвязаны, поэтому правильнее говорить о преимущественном влиянии той или иной группы свойств на определенные факторы. Наиболее тесная связь имеет место между свойствами технологичности конструкции и ресурсоемкости машины. Технологичность конструкции характеризует свойства, определяющие приспособленность конструкции к достижению оптимальных (наименьших) затрат ресурсов при производстве, эксплуатации и ремонте машин. Иными словами, технологичность определяет возможность снижения затрат до оптимального уровня. Ресурсоемкость машины характеризует свойство, определяющее фактическое количество ресурсов, вложенных при изготовлении, эксплуатации, ремонте и использовании машины. Такие показатели, как унификация, универсализация, приспособленность к техническому обслуживанию и ремонту, транспортабельность, относятся только к свойствам технологичности конструкции.

Существует тесная связь между свойствами, характеризующими технический эффект, безопасность и надежность машин. Рациональность формы, отражающая свойства технической эстетики, связана с эргономической обусловленностью машин (неслучайно ряд видных специалистов в области проектирования, например Дж. К. Джонс [5], взаимоувязывают художественное и эргономическое проектирование техники) (рис. 1).

Свойства, характеризующие экономическую эффективность машины, по существу, являются производными от остальных потребительских свойств техники.

Классификация потребительских свойств

№ п/п	Классификационный признак	Примеры показателей, определяющих потребительские свойства машин
1	Свойства, характеризующие: техническую эффективность	Производительность; пропускная способность; интенсивность рабочего процесса; точность выполнения рабочего процесса
2	безопасность машины	Напряженность электрического магнитного поля; вибрации и шум на рабочем месте оператора; механические, радиационные и иные воздействия на окружающую среду
3	надежность машины	Средняя наработка на отказ; вероятность безотказной работы; средний ресурс (срок службы); среднее время восстановления работоспособного состояния
4	технологичность конструкции	Показатели (конструктивные параметры), определяющие приспособленность конструкции к использованию по назначению, техническому обслуживанию и ремонту: конструктивные параметры, определяющие транспортабельность конструкции (использование веса, габаритов и др.); унификации конструкции
5	ресурсоемкость машины	Средняя или удельная оперативная трудоемкость технического обслуживания и ремонта; удельная материалоемкость машины; удельная энергоемкость машины
6	человеко-машинную систему (эргономичность машины)	Антропометрические (соответствие размерам и форме оператора); гигиенические (освещенность, состав воздуха); физиологические (соответствие силовым и иным физиологическим возможностям человека); психологические (соответствие возможностям восприятия информации)
7	техническую эстетичность машины	Художественная выразительность (образная или декоративная); рациональность формы (соответствие формы назначению изделия); целостность композиции (соподчиненность целого и частей); совершенство производственного исполнения (чистота выполнения контуров и сопряжений)
8	экономическую эффективность машины или производства новой техники	Приведенные затраты; прибыль; срок окупаемости капитальных вложений; интегральный показатель качества техники

СХЕМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ

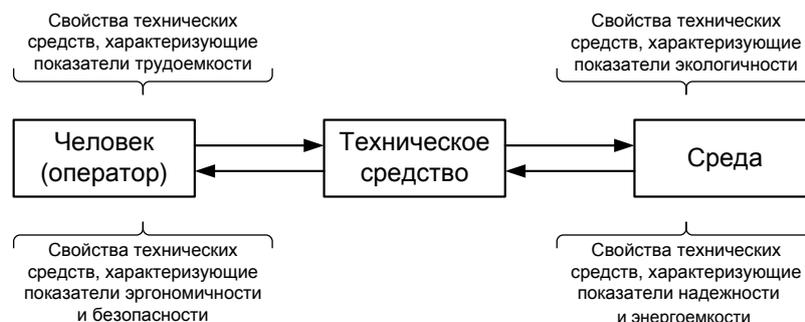


Рис. 1. Отдельные потребительские свойства в системе «человек – техническое средство – среда»

Существует и еще одна классификация потребительских свойств, разработанная в Головном конструкторском бюро по пропашным тракторам ПО «Минский тракторный завод», по которой все потребительские свойства разделены на 17 групп, оцениваемых в долях единицы [6]. Согласно этой классификации, показатели потребительских свойств для отдельных характеристик раздела вычисляются по формуле

$$K_{\text{ПСО}}^i = \frac{\Pi_{\text{со}}^T}{\Pi_{\text{са}}^T}, \quad (1)$$

где $\Pi_{\text{со}}^T$, $\Pi_{\text{са}}^T$ – соответственно численные значения показателей потребительских свойств оцениваемой модели и аналога.

Примерный перечень потребительских свойств колесных тракторов приведен в табл. 1 и дополняется из карт технического уровня, требований потребителя, технического задания, сравнительных испытаний и других источников. Здесь же приводятся ориентировочные значения их весомости для отдельных показателей разделов α_i и β_i .

Весомость показателя в группе оцениваемых показателей α_i назначается руководителем проекта на основе анализа потребительских свойств в соответствии с технико-экономическим обоснованием (ТЭО) на проектируемый трактор. Сумма показателей $\alpha_i = 1,0$. Весомость показателя в группе оцениваемых показателей β_i назначается руководителем проекта в зависимости от значимости этой характеристики для потребительских свойств оцениваемого трактора, при этом сумма $\beta_i = 1,0$.

При невозможности численной оценки показателя (например, дизайн, удобство управления, наличие системы диагностики и др.), а также отсутствии его численных значений величина $K_{\text{ПСО}}^i$ выбирается из табл. 2.

Показатель потребительских свойств по разделу рассчитывают по формуле

$$K_{\text{ПСП}}^i = \sum \alpha_i K_{\text{ПСО}}^i, \quad (2)$$

где α_i – коэффициент весомости показателя в оцениваемом разделе, назначаемый начальником КБ, специалистом или руководителем проекта в зависимости от важности показате-

ля для потребительских свойств оцениваемого трактора.

Таблица 2

Значения $K_{\text{ПСО}}^i$ при качественной оценке показателя

Оценка показателя	Принимаемое значение $K_{\text{ПСО}}^i$
Значительно лучше (на 25 % и более)	2,0
Лучше (от 0 до 25 %)	1,5
Одинаковы	1,0
Хуже (от 0 до 25 %)	0,5
Значительно хуже (на 25 % и более)	0

Показатель потребительских свойств по трактору рассчитывают по формуле

$$K_{\text{ПС}}^i = \sum \beta_i K_{\text{ПСП}}^i, \quad (3)$$

где β_i – коэффициент весомости показателей раздела в оцениваемом тракторе, назначаемый руководителем проекта или экспертной комиссией специалистов в зависимости от важности показателей раздела для потребительских свойств оцениваемого трактора.

Расчет среднего показателя потребительских свойств для оценки показателя качества процесса (СТП SMK 110-7.3.0) [7] производится по выражению

$$K_{\text{ПС}}^c = \frac{\sum K_{\text{ПС}}}{n}, \quad (4)$$

где $K_{\text{ПС}}$ – показатель потребительских свойств для каждого трактора, принятого для расчета; n – количество тракторов, принятых для расчета.

Ниже приведен пример расчета показателя потребительских свойств $K_{\text{ПСП}}^4$ по разделу 4 «Надежность» [8] для садоводческого трактора «Беларус-921» по сравнению с трактором New Holland TN 90 F. Расчет производили по (1).

Надежность (наработка на отказ). Данные получены из отчета по испытаниям Молдавской машинно-испытательной станции (МИС) (Кишинев) № 4-2004 [8]. Нарботка на отказ составила: для садоводческого трактора «Беларус-921» 1050 ч, для New Holland TN 90 F – 1220 ч:

$$K_{\text{ПСО}}^{4.1} = \frac{1050}{1220} = 0,86.$$

Ресурс основных узлов (наработка до сложного ремонта). Данные получены из отче-

та по испытаниям Молдавской МИС (Кишинев) № 4-2004 [8]. Ресурс основных узлов для садоводческого трактора «Беларус-921» составил 12000 ч, для New Holland TN 90 F – 10000 ч:

$$K_{\text{ПСО}}^{4.2} = \frac{12000}{10000} = 1,20.$$

Трудоемкость технического обслуживания. Данные получены из отчета по испытаниям Молдавской МИС (Кишинев) № 4-2004 [8]. Трудоемкость технического обслуживания за 1000 ч работы для садоводческого трактора «Беларус-921» составила 17,8 чел.-ч, для New Holland TN 90 F – 17,5 чел.-ч:

$$K_{\text{ПСО}}^{4.3} = \frac{17,5}{17,8} = 0,98.$$

По результатам опроса персонала, производившего ремонт тракторов на Молдавской МИС (Кишинев), выявлено, что приспособленность к ремонту садоводческого трактора «Беларус-921» лучше, чем трактора New Holland TN 90 F. В соответствии с табл. 2 принимаем значение показателя потребительских свойств $K_{\text{ПСО}}^{4.4} = 1,50$.

Наличие средств диагностики технического состояния. По данным проспектов, на садоводческом тракторе «Беларус-921» количество средств диагностики технического состояния оказалось значительно меньше (на 30 %), чем на тракторе New Holland TN 90 F. Согласно табл. 2, это соответствует оценке показателя «значительно хуже». Следовательно, принимаем значение показателя потребительских свойств $K_{\text{ПСО}}^{4.5} = 0$.

Значение показателя потребительских свойств $K_{\text{ПСР}}^4$ по разделу 4 «Надежность» [8] с учетом весомостей показателей (табл. 2) для садоводческого трактора «Беларус-921» по сравнению с трактором New Holland TN 90 F, рассчитанное по (2), составит

$$K_{\text{ПСР}}^4 = \alpha_{4.1} K_{\text{ПС}}^{4.1} + \alpha_{4.2} K_{\text{ПС}}^{4.2} + \alpha_{4.3} K_{\text{ПС}}^{4.3} + \alpha_{4.4} K_{\text{ПС}}^{4.4} + \alpha_{4.5} K_{\text{ПС}}^{4.5} = 0,28 \cdot 0,86 + 0,25 \cdot 1,20 + 0,22 \cdot 0,98 + 0,16 \cdot 1,50 + 0,09 \cdot 0 = 0,99.$$

Долю показателя потребительских свойств $K_{\text{ПС}}^4$ с учетом весомости β_i (табл. 2) по разделу 4 [8] рассчитывали по формуле (3)

$$K_{\text{ПС}}^4 = \beta_i K_{\text{ПСР}}^i = 0,06 \cdot 0,99 = 0,059.$$

Аналогичные расчеты проводили и по другим разделам. Наряду с изложенным следует отметить противоречивость потребительских свойств.

Задачи повышения технического уровня машин следует решать на стадии проектирования, так как только в этом случае возможны всестороннее рассмотрение различных вариантов конструкций и выбор решений, которые наилучшим образом удовлетворяют поставленным требованиям.

Как правило, выбор оптимальных технических решений связан с необходимостью проработки различных альтернативных вариантов и с выполнением соответствующих расчетов. В этом основная особенность современных проектно-конструкторских задач, в чем и выражена их сложность. Последняя обусловлена не только необходимостью перебора большого числа вариантов, но и тем, что такие задачи по своему математическому содержанию являются многокритериальными с противоречивыми целевыми функциями. Для решения указанных задач необходимо обоснованное определение допустимого множества решений и допустимых пределов изменения параметров.

Противоречивыми, например, являются требования прочности и легкости изделия, выполнение которых связано не только с выбором материалов, обладающих высокой прочностью и малой плотностью, но и с применением более совершенных методов расчета нагружения деталей машины и определением возникающих в них напряжений. Известно, что долговечность работы муфт сцепления в трансмиссиях машин зависит от количества выделяемого тепла при их включении: чем больше время включения, тем больше выделяется теплоты и тем меньше срок службы муфты. Поэтому, с точки зрения долговечности фрикционных, желательно, чтобы время их включения было минимальным. Однако это вызывает повышенные динамические нагрузки в приводе машины и ухудшает условия работы оператора. Отсюда возникает задача, связанная с выбором материала для рабочих элементов муфт сцепления и рациональных конструкций самих муфт и привода машины в целом.

Обычно используемые при прочностных расчетах простые арифметические формулы сводят вычисление напряжений лишь к грубым оценкам (за исключением деталей, имеющих простые геометрические формы). Это вызывает необходимость расширить математическое исследование конструктивной схемы и там, где это возможно, использовать не только область упругих деформаций металла, но и зону пластичности, лежащую выше предела текучести, но ниже предела прочности. Получить более точную и полную картину напряжений в конструкции, имеющей сложную пространственную геометрию и переменные сечения элементов, позволяет метод конечных элементов. Применение его открывает возможности расчета нелинейного деформирования конструкций, подвергающихся действию ударных нагрузок.

При проектировании систем пассивной безопасности колесных и гусеничных машин, предназначенных для защиты операторов при опрокидывании машины или от падающих на кабину предметов, конструктор также сталкивается с противоречивыми требованиями. С одной стороны, защитные конструкции должны обладать достаточной жесткостью, чтобы при ударе кабины машины об основание деформированные элементы кабины не травмировали оператора, а с другой – конструкция защитного устройства не должна быть слишком жесткой, чтобы часть энергии удара могла быть поглощена за счет деформации элементов защитного устройства. В настоящее время разработаны весьма эффективные методы расчета систем пассивной безопасности, например автомобилей и тракторов, а также методы их экспериментального исследования, позволяющие выбрать рациональные конструкторские решения защитных конструкций.

С альтернативными категориями встречаются также при оценке влияния отдельных параметров на управляемость и путевую устойчивость колесных и гусеничных машин. Если при прямолинейном движении, с точки зрения управляемости и путевой устойчивости, преимущество имеют длиннобазные машины, обеспечивающие в этом случае наименьшие затраты на управление машиной и наилучшую устойчивость, то при движении на поворотах

предпочтение следует отдать короткобазным машинам.

Сложные научные и инженерные проблемы возникают при выборе рациональных схем подвесок мостов колесных тракторов и некоторых других типов машин. Включение в ходовую часть машин рессорных подвесок позволяет повысить плавность хода машины и снизить динамические нагрузки, воспринимаемые несущей рамой машины и оператором, но при этом резко ухудшается устойчивость машины против опрокидывания, особенно при выполнении рабочих операций, например при механизации горного земледелия или выполнении грузоподъемных или монтажных работ самоходными кранами.

Наконец, потребителю продукции нередко приходится выбирать между ее ценой и качеством. В практике международной торговли потребитель (покупатель) часто останавливает свой выбор на продукции, которая оказывается приемлемой по качеству или по каким-то определяющим свойствам и по сравнению с другой предлагаемой продукцией того же назначения продается по меньшей цене.

С точки зрения числа характеризующих свойств, различают следующие виды показателей:

- единичные, характеризующие какое-либо одно свойство машины (интенсивность разгона трактора, номинальное крюковое усилие, агрегируемость, максимальную скорость движения, мощность двигателя);
- комплексные, характеризующие определенную совокупность взаимосвязанных свойств (производительность, надежность, ресурсоёмкость);
- интегральные, характеризующие совокупность свойств, которые определяют качество машины в целом с позиций ее народно-хозяйственной эффективности (показатели, определяющие экономическую эффективность машины).

Отмеченные выше потребительские свойства являются общими для всех типов тягово-транспортных систем. Поскольку эти свойства проявляются в основном в условиях эксплуатации, их называют также эксплуатационными. Для каждого типа машин, скажем для автомобилей, тракторов, принята определенная но-

менклатура эксплуатационных свойств и характеризующих их показателей, взаимосвязанных с соответствующими общими потребительскими свойствами машинной техники.

ВЫВОДЫ

1. Потребительские свойства и их показатели на стадии проектирования определяются выбранными системообразующими параметрами трактора, такими, например, как мощность двигателя, номинальное тяговое усилие (класс трактора), сцепная и конструктивная масса, диапазон скоростей, грузоподъемность навесных систем, тип движителя и т. д.

2. При определении указанных параметров проектируемого трактора используются различные методы. На Минском тракторном заводе совместно с учеными Белорусского национального технического университета (при непосредственном участии авторов) разработан оригинальный системный метод определения параметров проектируемого трактора, который был использован при создании семейства тракторов «Беларус» в рамках заданий Государственной научно-технической программы «Белавтотракторостроение» за 1995–2005 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуськов, А. В. Оптимизация тягово-сцепных качеств тракторных шин / А. В. Гуськов // Тракторы и сельхозмашины. – 2007. – № 7. – С. 14–17.
2. Беккер, М. Г. Введение в теорию систем местность–машина / М. Г. Беккер; пер. с англ. В. В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1973. – 376 с.
3. Гуськов, В. В. Оптимизация параметров сельскохозяйственных тракторов / В. В. Гуськов. – М.: Машиностроение, 1996. – 196 с.
4. Гуськов, В. В. Тракторы: теория / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев; под ред. В. В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.
5. Ксеневиц, И. П. Техничко-экономические основы проектирования машин и процессов / И. П. Ксеневиц, В. А. Гоберман, Л. А. Гоберман; под ред. И. П. Ксеневица. – М.: Машиностроение, 2003. – Т. 3. – 775 с.
6. Пуховой, А. А. Основные положения и практическая реализация создания типоразмерного ряда тракторов «Беларус» / А. А. Пуховой. – Минск: ПО «МТЗ», 2006. – 340 с.
7. Гуськов, А. В. Потенциальная и тяговая характеристика колесных тракторов с отбором мощности через ВОМ / А. В. Гуськов // Приводная техника. – 2000. – № 1. – С. 12–16.
8. Отчет по испытаниям садоводческого трактора «Беларус-921» / Молдавская государственная машинно-испытательная станция № 4. – Кишинев, 2004. – 36 с.

Поступила 22.02.2008

УДК 621.831:539.4

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПЕРЕДАЧ МНОГОПАРНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ ТРАНСМИССИЙ ТРАКТОРОВ «БЕЛАРУС»

Инж. СУПИН В. В.

Белорусский национальный технический университет

Проектирование трансмиссий не может осуществляться на высоком техническом уровне без совершенствования существующих и создания новых методов исследования напряженного состояния зубчатых колес. Совершенствование методов расчета является важным условием повышения нагрузочной способности

зубчатых передач, снижения их материалоемкости и стоимости. Исследования автора направлены на разработку метода граничных элементов к определению напряжений при изгибе зубьев цилиндрических прямозубых колес и выбор рациональных конструктивных параметров профилей зубьев путем